Die elektrischen Lichterscheinungen

oder

Entladungen

bezeichnet als

Glimmen, Büschel, Funken und Lichtbogen,

in freier Luft und in Vacuumröhren,

unter Berücksichtigung von Entladungen ohne Lichterscheinung und der Entstehung des Lichtes, der elektrischen Strahlen, Kathodenstrahlen, Röntgenstrahlen etc.

zum Theil auf Grund eigener Experimentaluntersuchungen

bearbeitet von

Dr. O. Lehmann,

Grossh. Bad. Hofrath, Professor der Physik a. d. techn. Hochschule in Karlsruhe.

Halle a. S.

Verlag von Wilhelm Knapp.

1898.

Vorwort.

Das dunkelste, ungeachtet aller Bemühungen am wenigsten aufgeklärte Gebiet der Physik ist das der elektrischen Entladungen in Gasen, obschon gerade diese Erscheinungen durch den strahlenden Glanz, den wir beim elektrischen Bogenlicht bewundern, durch die blendende, erschreckende Helle, welche Blitze in dunkler Gewitternacht verbreiten, durch die wundervollen, prächtigen Lichtphänomene im elektrischen Ei und in hochevakuirten Röhren, durch das räthselhafte Auftreten des Nordlichts und vieler ähnlicher merkwürdiger Effekte schon seit langen Zeiten in ganz besonders hohem Grade die Aufmerksamkeit nicht nur der Physiker, sondern auch der Laien auf sich gelenkt und eine ganz unabsehbare Zahl eingehender Experimentaluntersuchungen und literarischer Arbeiten zu Tage gefördert haben.

Die Anhäufung der vielen oft sehr weitläufigen und sich wiederholenden Beschreibungen von Apparaten und speziellen Versuchsergebnissen bildet für denjenigen, welcher eigene Untersuchungen auf diesem Gebiete anzustellen beabsichtigt, ein sehr lästiges Hinderniss und eine Quelle grossen Zeitverlustes, da trotz der sorgfältigen Zusammenstellung der Literatur in G. Wiedemanns bekanntem Buche „Elektrizität“, wegen Mangels einer wirklich befriedigenden Theorie eine Uebersicht nur schwer zu gewinnen ist, so dass man häufig erst nach langem Arbeiten gewahr wird, dass eine Erscheinung, die man neu gefunden zu haben glaubte, längst beschrieben ist oder dass sie in ganz anderer Weise gedeutet und erklärt werden muss, als dies nach den zufälligen Versuchsumständen zunächst am wahrscheinlichsten erschien.

Diese Schwierigkeiten hatte ich gegen Ende der siebziger Jahre Gelegenheit selbst zu erproben, weshalb ich, zunächst zu meinem eigenen Gebrauch und auf Grund eigener Versuche, eine Art Systematik der Erscheinungen herstellte, die ich aber später, in der Hoffnung vielleicht auch

Andern, die sich in ähnlicher Lage befanden, nützlich sein zu können, der Oeffentlichkeit übergab.

So entstand meine erste, in zwei Theilen erschienene Arbeit über diesen Gegenstand, welche zunächst in Wiedemanns Annalen[1]) und später in erweiterter und verbesserter Form in meinem Buche „Molekularphysik“[2]) publizirt wurde.

Bei Ausführung dieser Arbeit erkannte ich als eine der wesentlichsten Quellen von Störungen und Irrthümern die Kleinheit der Dimensionen der gewöhnlich benutzten Entladungsgefässe, wenn die Entladungen in verdünnter Luft beobachtet wurden. Ich versuchte diese Schwierigkeiten dadurch zu umgehen, dass ich die Entladungen bei mikroskopisch kleinen Elektrodenabständen untersuchte, welchen gegenüber die Dimensionen der Entladungsgefässe als unendlich gross gelten konnten, nachdem ich gefunden hatte, dass bei solchen sehr kleinen Fünkchen und Glimmerscheinungen im Wesentlichen dieselben Eigenthümlichkeiten zu beobachten sind, wie bei grossen. Messende Versuche waren allerdings unter solchen Umständen ausgeschlossen, indess fehlten mir zu Experimenten in grösserem Maassstabe die erforderlichen Apparate.

Als sich später Gelegenheit bot, auch in letzterer Richtung die Versuche zu erweitern, liess ich kleinere ergänzende Mittheilungen folgen[3]) und wiederholte dann noch mehrmals den Versuch einer übersichtlichen Darstellung.[4])

Wenn es mir in den letzten Jahren möglich war, eine Reihe von Versuchen auszuführen, zu welchen sonst die Einrichtungen physikalischer Institute nicht auszureichen pflegen, so verdanke ich dies freundlichem Entgegenkommen von verschiedener Seite, was ich auch an dieser Stelle hervorzuheben mich verpflichtet fühle.[5])

---

1) O. L., Wied. Ann. **11**, 686—704, 1880 und **22**, 307—344, 1884.

2) O. L., Molekularphysik, Leipzig, II, 220—235, 1889.

3) O. L., Wied. Ann. **44**, 642—653 (1891); **47**, 426—439 (1892); **55**, 361—388 (1895); **56**, 304—346 (1895); Zeitschrift für physikalische Chemie **18**, 97—117 (1895).

4) O. L., Elektrizität und Licht, Braunschweig, S. 282—230, 1895 (z. Th. auch in Fricks phys. Technik, 6. Aufl., S. 487—546, 1895); Zeitschrift für Elektrochemie II, 463 und 477, 1896 und Verhandlungen des Karlsbader naturwissenschaftlichen Vereins **12**, 18 (z. Th. in Müllers Grundriss der Physik, 14. Aufl., S. 556—583, 1896).

5) H. Hertz, mein allbekannter hochverdienter Vorgänger, hatte zu gleichen Zwecken eigenhändig eine dazu geeignete Hochspannungs-Akkumulatorenbatterie zusammengesetzt, welche trotz der mannigfachen Mängel, welche naturgemäss einem derartigen mit möglichst einfachen Mitteln selbst hergestellten Apparate anhaften, in manchen Fällen

Diese Versuche in grösserem Maassstabe haben, wenn sie auch nur ganz vorläufigen Charakter tragen und noch lange nicht als abgeschlossen gelten können, doch sehr wesentlich dazu beigetragen, besseren Ueberblick zu erhalten und Irrthümer, welche durch die Unvollkommenheit der früher benutzten Apparate bedingt waren, als solche zu erkennen.

Indess war auch eine grosse Menge neuer Literatur hinzugekommen, so dass die ältere vor bald 20 Jahren, zudem ohne Kenntniss der besprochenen Versuche im Grossen hergestellte Zusammenstellung, als völlig veraltet bezeichnet werden musste.

Sehr gerne bin ich daher der Aufforderung der Verlagshandlung gefolgt, eine neue derartige Uebersicht über die Entladungserscheinungen herzustellen, welche also gewissermaassen als neue Auflage der früheren gelten kann und viele Stellen derselben wörtlich enthält, indess war es mir natürlich auch jetzt nicht möglich, über gewisse Schwierigkeiten hinweg zu kommen, die in der Natur der Sache liegen und erst verschwinden werden, wenn einmal eine wirklich vollkommen zutreffende Theorie der Erscheinungen gefunden sein wird.

Die bisherigen Theorien findet man am Schlusse des Buches kurz zusammengestellt. Brauchbar für den vorliegenden Zweck, d. h. für ein vom einfachen zum komplizirteren lückenlos und ohne Antizipationen fortschreitende Ordnung der Gesammtliteratur ist meines Erachtens nur eine einzige, nämlich die Faraday'sche, welche auch der früheren Systematik der Erscheinungen als Grundlage gedient hat.

Alle übrigen beziehen sich nur auf ganz spezielle Erscheinungen, wie z. B. die Bildung sogenannter Kathodenstrahlen, und sind auch von ihren Urhebern nicht dazu benutzt worden, die Gesammtheit der Erscheinungen zu erklären.

---

recht gute Dienste leistete. Die Grossh. Generaldirektion der Badischen Staatseisenbahnen hatte die Freundlichkeit, dem physikalischen Institut der Technischen Hochschule 3 durch Brand beschädigte Dynamomaschinen zu überlassen, welche in der Werkstätte des Instituts zweckentsprechend umgebaut wurden, davon eine für sehr hohe Spannung, welche gewöhnlich mit der eben erwähnten Akkumulatorenbatterie in Serie geschaltet wurde. Die Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft in Hagen i. W., die Elektrizitätsgesellschaft Gelnhausen und die Akkumulatorenwerke Gottfried Hagen in Kalk bei Köln stellten mir eine Anzahl grosse, beschädigte, aber für die vorliegenden Zwecke ausreichende Akkumulatorenzellen zur Verfügung, welche zur Erzeugung von Starkstrom zur Erhitzung der Elektroden gebraucht wurden; endlich ermöglichte ein seitens der Gasmotorenfabrik Deutz gewährter beträchtlicher Rabatt die Anschaffung einer grossen Hochdruckinfluenzmaschine, welche in entgegenkommender Weise von dem mechanischen Institut von O. Leuner in Dresden zu mässigem Preise hergestellt wurde.

In völlig unveränderter Form ist allerdings auch die Faraday'sche Theorie nicht zu verwenden, sie musste durch verschiedene Zusätze und Aenderungen, wie ich es schon früher dargelegt hatte, den Thatsachen besser angepasst werden und namentlich war es nothwendig, schärfer als dies von Faraday selbst geschehen ist, hervorzuheben, dass die Entladungen unter allen Umständen als intermittirend betrachtet werden müssen und dass aus diesem Grunde die Bildung unsichtbarer elektrisirter Luftschichten im Verein mit der Eigenthümlichkeit, dass verschiedene Ionen ihre elektrische Ladung mit verschiedener Leichtigkeit gegen die entgegengesetzte auswechseln, in hohem Maasse abändernd auf den Entladungsprozess einwirkt und dadurch alle die merkwürdigen Phänomene bedingt, die man kurz als „polare Verschiedenheiten" bezeichnet.

Karlsruhe, den 8. April 1897.

O. Lehmann.

Inhaltsverzeichniss.

Einleitung.

Nachdem Wilhelm Gilbert, der berühmte Arzt der Königin Elisabeth von England, zu Beginn des siebzehnten Jahrhunderts die schon im Alterthum bekannten Versuche, Körper durch Reibung elektrisch zu machen, d. h. ihnen die Fähigkeit zu ertheilen kleine Körperchen anzuziehen, wiederholt und durch neue vermehrt hatte, machte zuerst der hochverdiente Magdeburger Bürgermeister Otto von Guericke, der Erfinder der Elektrisirmaschine, im Jahre 1670 die Entdeckung, dass die Körper beim Elektrisiren durch Reibung im Dunkeln eine Lichterscheinung (Glimmen und Büschel) hervorzubringen vermögen, welche an dem genäherten Finger oder der Hand auftritt und mit einem knisternden Geräusche verbunden ist.

Zwei Jahre später beobachtete der allbekannte Philosoph Leibniz beim Reiben einer Guericke'schen Schwefelkugel einen glänzenden elektrischen Funken und im Jahre 1698 gelang es den englischen Physikern Boyle und Wall, solche Funken selbst beim Reiben von verhältnissmässig kleinen Bernsteinstücken zu erhalten.

Hierdurch wurde die allgemeine Aufmerksamkeit auf das „elektrische Licht" gelenkt und schon im Jahre 1705 kam Hawksbee auf die Vermuthung,[1] auch eine bereits 1675 durch den Astronomen Picard in Paris beim Transportiren eines Barometers im Toricelli'schen Vakuum beobachtete räthselhafte Lichterscheinung müsse elektrisches Licht sein, hervorgebracht durch Reibung des Quecksilbers am Glase. Grosses Erstaunen erregte es, als es ihm in Verfolgung dieser Idee im Jahre 1708 gelang, evakuirte, im Innern theilweise mit Pech bestrichene Glaskugeln durch Reiben mit der Hand leuchtend zu machen und ganz besonders, dass man bei diesen Versuchen im Dunkeln deutlich die Umrisse der reibenden Hand auf der undurchsichtigen Pechfläche erkennen konnte.

1) Der Beweis, dass die Erscheinung eine elektrische ist, wurde erst 1734 durch Ludolph mittelst des Elektroskops geliefert. In gleicher Weise entsteht das Leuchten der sog. „Schüttelröhren", evakuirter Glasröhren, in welche etwas Quecksilber eingeschlossen ist, welches beim Schütteln ein phosphorisches Licht erzeugt. Eine derartige, aus dem vorigen Jahrhundert stammende Röhre des Karlsruher Kabinets hat die Form eines Radkranzes, ist mit Speichen und Nabe versehen und kann mittelst einer Kurbel in kontinuirlicher Drehung gehalten werden, wobei sie konstant leuchtet.

Da man bis dahin die Funken hauptsächlich durch Annähern der Hand an elektrisirte Körper oder durch Reiben mittelst derselben erhalten hatte, so erstreckten sich die nächsten weiteren Versuche von Gray (1731 bis 1736), Dufay (1733 bis 1734), Nollet (1747 bis 1762) u. A. hauptsächlich darauf, zu ermitteln, in wie weit etwa diese elektrischen Funken abhängig sind von der Natur der Körper, aus welchen sie gezogen werden, denn das Aussergewöhnliche, Wunderbare der Erscheinung hatte die Entdecker sofort auf den Gedanken gebracht, die neue Erscheinung möchte in irgend einer Weise mit der sogen. „Lebenskraft“ zusammenhängen.

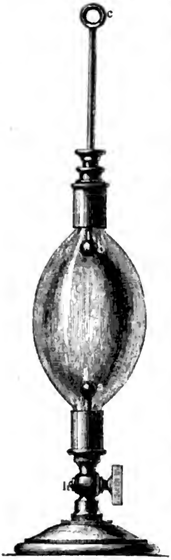


Fig. 1.

Sie elektrisirten deshalb isolirt aufgestellte Menschen und Thiere und zogen Funken aus den verschiedenen Gliedern derselben. Ihre Vermuthung bestätigte sich allerdings nicht, wohl aber kamen sie zu einem scheinbar wichtigen Resultate, nämlich dem, dass im Allgemeinen drei Arten von elektrischer Entladung zu unterscheiden seien: Funken, Büschel und Glimmen.[1])

Eine vierte Entladungsart schien das von Hawksbee untersuchte Leuchten im Vakuum darzustellen, welches zunächst insbesondere von Watson (1751), Henley (1774) und Walsh (1787) unter Verwendung eines eiförmigen Rezipienten, des sogenannten „elektrischen Ei's“ (Fig. 1) näher studirt wurde.[2]) Letzteres wurde auch „Henley's leuchtender Leiter“ oder der „feurige Baum“ oder die „feurige Schraube“ genannt, wohl deshalb, weil sich bei mässigem Luftdrucke die Entladung darin baumartig verästelt und die Aeste sich in Schraubenlinien der Glaswand entlang ziehen.

Es folgte die Entdeckung der Leydener Flasche [durch Kleist und Cunäus (1745)] und Prof. Winkler in Leipzig (1746) war wohl[3]) der erste, welcher auf Grund der damit angestellten Versuche die Ansicht vertheidigte, dass auch der Blitz nur ein grosser elektrischer Funke sei, was bald darauf (1752) durch die bekannten Versuche Franklin's u. A. bewiesen wurde. Ebenso versuchte

---

1) Streng gesondert von Hausen, vergl. Riess, Reibungsel. **2**, 141.

2) Vergl. auch Cavallo, Vollst. Abh. v. d. Elektr., Leipzig 1785, S. 164, und Cuthbertson, Abh. v. d. Elektr., Leipzig 1786, S. 81 u. ff.

3) Winkler, Von der Stärke der elektrischen Kraft des Wassers in gläsernen Gefässen, Kapitel: „Ob Schlag und Funken der verstärkten Elektrizität für eine Art des Donners und Blitzes zu halten sind?“ Ein Pfarrer in einem Dorfe in der Nähe von Salzburg soll in noch früherer Zeit bereits diese Ansicht gehabt und eine „Wettermaschine“ konstruirt haben. Auch verglich bereits Wall, als er den ersten glänzenden Funken sah, denselben mit Blitz und Donner.

Prof. Eberhard in Halle[1]) (1758) das Nordlicht als eine elektrische Erscheinung zu deuten und mittelst eines Blitzableiters (wie später Lemström) das Auftreten elektrischer Spannungen dabei direkt nachzuweisen.

Im Jahre 1800 entdeckte Volta die nach ihm benannte Säule, deren Oeffnungsfunke jedenfalls von ihm selbst zuerst beobachtet, aber erst etwas später von Davy zwischen Kohlenspitzen dauernd als glänzender „Lichtbogen" hervorgebracht wurde und die Welt in Erstaunen versetzte.

Sehr eingehende weitere Untersuchungen über die Entladungserscheinungen, insbesondere im luftverdünnten Raume, wurden weiterhin ausgeführt von Faraday (1838), dem ehemaligen Assistenten Davy's in London und Plücker (1858) in Bonn, und bald gehörten die von dem Glasbläser Geissler in Bonn zuerst hergestellten Vakuumröhren mit eingeschmolzenen Platindrähten (Fig. 2) zu den interessantesten und meist bewunderten Apparaten aller physikalischen Institute.[2])

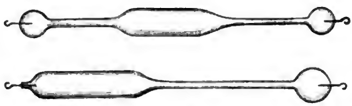


Fig. 2.

Zehn Jahre später begann Plücker's Schüler Hittorf seine gründlichen und auch heute noch den Haupttheil unserer Kenntnisse bildenden Untersuchungen über die Entladungserscheinungen in hochverdünnten Räumen zu veröffentlichen. Auf die nun folgende Litteratur, in welcher eine Unmasse weiterer Einzelheiten über die verschiedenen Entladungsformen enthalten ist, soll hier nicht näher eingegangen werden, da eben die geordnete Zusammenstellung dieser Beobachtungen den Inhalt der folgenden Kapitel bildet.

Es sei nur noch bezüglich der technischen Anwendungen, welche auf wissenschaftliche Untersuchungen fördernd einzuwirken pflegen, erwähnt, dass bereits im Jahre 1819 Prof. Meinicke[3]) in Halle den Versuch machte, eine elektrische Beleuchtungsanlage mittelst Blitztafeln und Vakuumröhren in seinem Auditorium einzurichten und dass es ihm auch gelang, eine solche Helligkeit zu erzielen, dass man dabei lesen konnte. Der erste Versuch zur Verwerthung

1) Eberhard, Von den Ursachen des Nordlichts und dessen Aehnlichkeit mit der Elektrizität, Wöchentl. Halle'sche Anzeigen, 1758.

2) Die erste Beschreibung der Geissler'schen Röhren findet sich in Pogg. Ann. **98,** 497, 1856. Eine nähere Beschreibung der zur Herstellung derselben benutzten Quecksilberluftpumpe, sowie zahlreiche schöne, kolorirte Abbildungen der beobachteten Lichterscheinungen giebt Dr. W. H. Th. Meyer in Bonn in der Schrift: „Beobachtungen über das geschichtete elektrische Licht, sowie über den merkwürdigen Einfluss des Magneten auf dasselbe nebst Anleitung zur experimentellen Darstellung der fraglichen Erscheinungen." Berlin, Springer, 1858. Die Kenntniss dieser Schrift verdanke ich Herrn Geheimrath G. Quincke in Heidelberg.

3) Meinicke, Gilb. Ann. **62,** 87, 1819. „Dieser Versuch", sagt er, „ist freilich noch sehr unvollkommen; er zeigt indess, dass eine beträchtliche Beleuchtung durch geringen elektrischen Aufwand hervorgebracht werden kann."

des elektrischen Lichtbogens zu öffentlicher elektrischer Beleuchtung wurde im Jahre 1844 in Paris mittelst Foucault's Regulator und einer Batterie der im Jahre 1842 erfundenen Bunsen'schen Elemente gemacht. Die magnetoelektrischen Maschinen wurden zuerst im Jahre 1860 zur elektrischen Beleuchtung eines Leuchtthurms (South Foreland High Light) durch Holmes verwendet. Die betreffende Maschine war eine solche mit feststehenden Spulen und rotirenden Stahlmagneten. Sie wurde getrieben durch eine zweipferdige Dampfmaschine.

Erst die Erfindung der Gramme'schen Maschine (1871), durch welche es möglich wurde, zuverlässig und billig stärkere Ströme von gleichmässiger Intensität zu erzeugen, ermöglichte aber die rasche Ausbreitung der Bogenlichtbeleuchtung, welche heute bereits etwas alltägliches ist.

Die Versuche Tesla's mit ergiebigen Maschinen mit hoher Spannung und hoher Wechselzahl haben übrigens in neuester Zeit abermals die Aufmerksamkeit auf etwaige technische Verwerthung der Entladungserscheinungen in Vakuumröhren gelenkt, deren Wirkungsgrad im Verhältniss zu anderen Lichterzeugungsarten ein ausserordentlich hoher zu sein scheint.[1])

1) Ebert, Wied. Ann. **53**, 160, 1894; Moore, Elektrotechn. Zeitschr. **17**, 637, 1896.

I. Die Arten der Entladung.

Durch die dargelegten Untersuchungen und industriellen Verwerthungen der gefundenen Ergebnisse gelangte man nach und nach zur Kenntniss verschiedenartiger Entladungsformen, ohne dass indess eine scharfe Unterscheidung derselben möglich geworden wäre. Auch konnte über die näheren Umstände des Auftretens der verschiedenen Phänomene kein einfaches Gesetz aufgestellt werden, wenn auch schon aus den ältesten Beobachtungen zu erkennen war, dass Funken- und Lichtbogenentladung eine sehr ergiebige Elektrizitätsquelle verlangten, im Gegensatz zur Glimmentladung, und dass letztere in Luft von gewöhnlicher Dichte bei verstärkter Elektrizitätszufuhr in Büschelentladung, im luftverdünnten Raume in Streifenentladung[1]) überzugehen pflegt.

Um über diese Fragen Klarheit zu erhalten, habe ich in der im Jahre 1880 publizirten Arbeit[2]) zunächst die Merkmale und Entstehungsbedingungen der verschiedenen Entladungsarten zu ermitteln gesucht. Die Hauptergebnisse waren:

1. Die verschiedenen Entladungsarten lassen sich nicht scharf von einander trennen, sondern sind durch Uebergangsformen verbunden, stellen also nur Modifikationen eines und desselben Vorganges dar.

2. Ein wesentlicher Unterschied zwischen Entladungen in Luft von gewöhnlicher Dichte und im Vakuum besteht nicht. War man z. B. früher der Ansicht, dass im Vakuum keine Funkenentladung möglich sei, sondern nur die als Streifenentladung bezeichnete Entladungsart, und dass umgekehrt letztere in Luft von gewöhnlicher Dichte nicht auftreten könne, so ergab sich bei meinen Versuchen, dass man doch durch geeignete Art der Elektrizitätszufuhr zu den Elektroden, genügende Grösse des Entladungsraumes vorausgesetzt, jede Entladungsart sowohl in sehr dichter wie in äusserst verdünnter

1) Hierunter ist die gewöhnlich in Geissler'schen Röhren zu beobachtende, im Prinzip schon von Hawksbee im elektrischen Ei und von Lord Charles Cavendish in seinem Doppelbarometer erhaltene Entladungsform zu verstehen, welche ich so nannte, weil Faraday den positiven Theil derselben häufig als „Lichtstreif" bezeichnet. Tesla, Untersuchungen über Mehrphasenströme etc., Halle 1895, S. 313 spricht von einer „Fadenentladung", welche wohl damit identisch sein dürfte.

2) O. L., Wied. Ann. **11**, 686, 1880.

Luft, bei den grössten wie den kleinsten Elektrodendistanzen, bei jeder Form und chemischen Beschaffenheit der Elektroden und auch bei Verwendung jeder beliebigen Elektrizitätsquelle erhalten könne.

3. Zweckmässig unterscheidet man vier Typen der Entladung, nämlich:

a) Glimmentladung,
b) Büschelentladung,
c) Streifenentladung,
d) Funkenentladung.

Die Lichtbogenentladung ist als langandauernde oder permanente Funkenentladung in erhitzter und chemisch veränderter Luft zu betrachten oder letztere als sehr kurz dauernde (meist in Folge der Bildung elektrischer Oscillationen pulsirende oder alternirende) Bogenentladung.

Büschel- und Streifenentladung können unter völlig gleichen Umständen stattfinden, wobei sie sprungsweise (nicht kontinuirlich) in einander übergehen, gerade als ob ihre Entstehung bedingt wäre durch ein in Folge des Stromdurchganges von selbst entstehendes, ähnlich wie eine kleine Funkenstrecke wirkendes Hinderniss, welches entweder an der Anode oder an der Kathode auftritt und so entweder die als Büschelentladung, oder die als Streifenentladung bezeichnete Modifikation der Lichterscheinung hervorruft.

Um eine deutliche Anschauung von den besprochenen Lichterscheinungen zu geben, mögen zunächst einige typische Spezialfälle näher beschrieben werden.

A. Entladungen im elektrischen Ei.

Gelegentlich der im Jahre 1884 publizirten Arbeit[1]) habe ich die Lichterscheinungen in einem grossen elektrischen Ei bei 18 cm Elektrodendistanz direkt nach der Natur photographirt. Die besten dieser Bilder sind in den Figg. 3a bis 3d dargestellt.

Fig. 3a zeigt Glimmentladung bei 1,8 mm Druck,
„ 3b „ Funkenentladung „ „ „ „
„ 3c „ Streifenentladung „ „ „ „
„ 3d „ Büschelentladung „ „ „ „

Um diese Entladungsarten zu erhalten, wurde eingeschaltet bei:

Fig. 3a keine Funkenstrecke,
„ 3b Funkenstrecke auf der positiven Seite 4 mm gross.
„ 3c Funkenstrecke auf der negativen Seite 4 mm gross.
„ 3d Funkenmikrometer mit über die nadelförmigen Elektroden geschobenen Glasröhrchen, Influenzmaschine mit grossen Flaschen, Funkenstrecke beiderseits 4 mm.

Als Gefäss (elektrisches Ei) dienten zwei mit ihrer Basis verkittete tubulirte Luftpumpenrezipienten von 16 mm Durchmesser und zusammen 48 cm

1) O. L., Wied. Ann. 22, 305, 1884.

Länge. In die Tubuli waren hohle Glasstöpsel eingesetzt, an welche Hähne und Elektrodenträger eingeschmolzen waren. Die Elektroden selbst bestanden meist aus Messingdraht von 2 mm Durchmesser und konnten leicht ausgewechselt

Fig. 3a. Glimmentladung +schwach, —schwach.

Fig. 3b. Büschelentladung +stark, —schwach.

Fig. 3c. Streifenentladung +schwach, —stark.

Fig. 3d. Funkenentladung +stark, —stark.

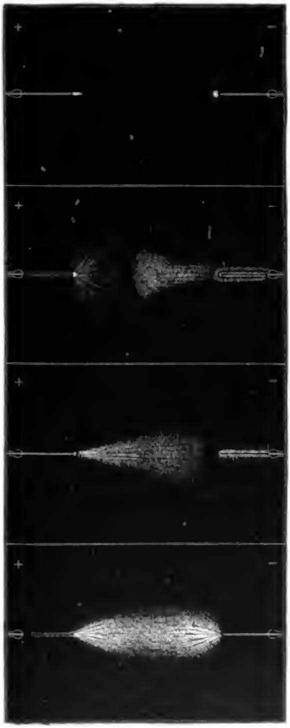


Fig. 3.

werden, insofern sie nicht direkt im Glase befestigt waren, sondern in die genannten Elektrodenträger eingeschraubt wurden. Die beiden äusseren Enden der Elektrodenhalter wurden direkt mit den Funkenmikrometern verbunden, deren also stets zwei gebraucht wurden, einer für die positive und einer für die negative Elektrode.

B. Einfluss des Luftdrucks.

Aendert sich der Druck der Luft, so nehmen Glimm- und Funkenentladung grösseren oder kleineren Querschnitt an, zeigen aber im Uebrigen keine wesentlichen Aenderungen. Die Büschelentladung nähert sich dagegen in ihrer äusseren Erscheinung mit zunehmendem Druck der in gleicher Weise bezeichneten Lichterscheinung in freier Luft, die Streifenentladung geht mit sinkendem Druck in die unter gewöhnlichen Umständen in Geissler'schen Röhren zu beobachtende Erscheinung über. Die Fig. 4 lässt dies deutlich erkennen.

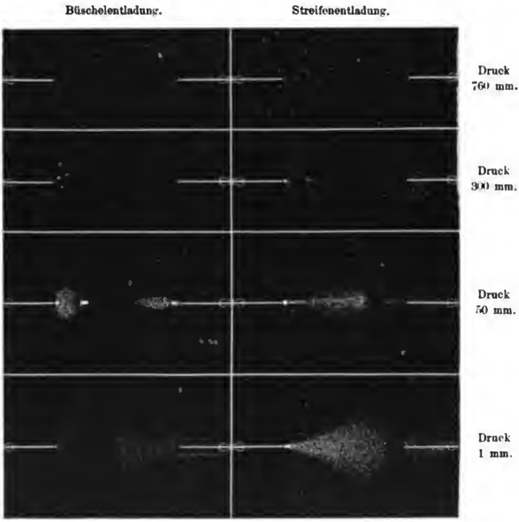


Fig. 4.

Hiernach scheint es also, dass das Hinderniss, welches bei mässiger Verdünnung in Form einer kleinen Funkenstrecke vor Anode bezw. Kathode vorgeschaltet werden muss, um bezw. Büschel- oder Streifenentladung zu erhalten, sich in dichter Luft von selbst an der Anode, in verdünnter an der Kathode einstellt, so dass verständlich wird, weshalb man in sehr dichter Luft in der Regel nur Büschel-, in sehr verdünnter nur Streifenentladung erhält.

Noch wesentlich deutlicher als aus den gegebenen älteren Figuren sind die Unterschiede der vier Entladungsarten erkennbar aus der der Zusammenstellung neuerer Versuche in der Zeitschrift für Elektrochemie[1]) beigegebenen,

1) O. L., Zeitschr. für Elektrochemie II, 463, 477, 1896.

auch hier reproduzirten, chromolithographischen Tafel, welche sämmtliche Entladungsarten bei vier verschiedenen Drucken darstellt und zwar hervorgebracht in einem elektrischen Ei von ca. 0,66 m Länge und 0,3 m Durchmesser unter Anwendung einer Hochspannungs-Dynamomaschine oder eines Hochspannungs-Akkumulators mit eingeschalteten Glycerinwiderständen als Elektrizitätsquelle.

Bezüglich der Einzelheiten ist Folgendes zu bemerken:

a) Glimmentladung.

Bei den Drucken 1,5, 3,5, 20 und 70 mm hatte die Glimmentladung die in den Figg. 1—4 Taf. I dargestellte Form. Die Stromstärke war dabei beziehungsweise ungefähr $3 \cdot 10^{-5}$, $5 \cdot 10^{-4}$, $3 \cdot 10^{-4}$ und $2 \cdot 10^{-4}$ Ampère, die Elektrodenspannung 800, 1000, 5600 und 15 000 (?) Volt.

Bei dem niedrigsten angewandten Drucke zeigte sich, etwa 20 mm von der Kathodenoberfläche abstehend, ein kometenartiges Lichtgebilde, bestehend aus einem helleren Kopf und einem unmittelbar daran angesetzten Schweif, welches sich gewöhnlich nicht, wie in der Figur gezeichnet, in der Achse der Elektroden aufhielt, sondern seitwärts gerichtet war und je nach der Stromstärke langsam um die Elektrodenachse rotirte.

Auf der Anode befand sich eine etwa 3 mm dicke Schicht Glimmlicht, welche beim Umlauf des Kometen sich mitbewegte, als ob sie durch unsichtbare Fäden damit verbunden wäre.[1])

Bei dem nächst grösseren Drucke zerfiel das Lichtgebilde in einen 1 mm von der Kathode abstehenden konkaven blauen Glimmlichtfleck und einen davon etwa 2 mm abstehenden, an seiner Spitze geschichteten röthlichen Lichtpinsel. Auch das positive Glimmlicht war, namentlich in der Breite, zusammengeschrumpft. Noch weit kleinere Dimensionen nahmen die beiden Lichtgebilde bei den höheren Drucken an, was sich in der Abbildung nicht andeuten liess, die Form blieb indess stets dieselbe.

Bei sehr niedrigem Druck und grosser Stromstärke ging das kometenartige Lichtgebilde in eine die ganze Kathode umhüllende blaue Glimmlichtschicht über, ähnlich wie bei Fig. 1 Taf. III, und auch das positive Glimmlicht bedeckte die ganze Anode, hauptsächlich auf der von der Kathode abgewandten Seite.

Die Glimmentladung kann als die normale Entladung bei geringer Stromstärke betrachtet werden. Sie tritt stets dann auf, wenn der Entladungsapparat sorgfältig mit der Elektrizitätsquelle verbunden ist, so dass nirgendwo Funkenstrecken oder mangelhafte Kontakte die Leitung unterbrechen, oder wenn man (speziell bei mikroskopischen Versuchen[2])), den Elektroden den Strom in Form elektrischen Windes zuführt.

1) Sehr auffällig ist der Einfluss eines Magneten, wenn sich die Kathode über der Anode und der Magnetpol über der Kathode befindet. Das Gebilde rotirt dann äusserst rasch im einen oder andern Sinn, je nach der Art des Magnetpols. Vielleicht ist der Erdmagnetismus die Ursache der gewöhnlichen Rotation.

2) O. L., Molekularphysik, I, 837, 1888.

Wird die Stromstärke allmählich immer mehr erhöht, so zeigen sich zunächst wandernde, runde, oft sehr regelmässig angeordnete Häufchen von positivem Glimmlicht in der Lichthülle der Anode und schliesslich geht die Glimmentladung plötzlich in Funken- oder Lichtbogenentladung über.

Die Glimmlichthülle der Kathode besteht aus dem der Elektrodenoberfläche dicht anliegenden röthlichen Saume[1]) (I. Schicht) und der durch den dunkeln Kathodenraum (II. Schicht) davon geschiedenen blauen Glimmlichthülle (III. Schicht). Letztere ist unmittelbar an der Grenze des dunkeln Raumes sehr hell und verliert sich nach aussen diffus.

Messungen des Potentialabfalles ergeben, dass fast das ganze Potentialgefälle in dem dunkeln Kathodenraume enthalten ist, so dass dieser gewissermaassen das Dielektrikum eines Kondensators darstellt, dessen eine Belegung die Glimmlichthülle, dessen andere Belegung die Kathodenoberfläche ist.

b) Die Büschelentladung.

Schaltet man vor die Anode eine kleine Funkenstrecke, so lagert sich an die Anode eine diffuse bläuliche Lichtmasse an, welche bei dem niedrigsten Drucke fast den ganzen Raum des Rezipienten einnimmt, sich aber bei steigendem Drucke, wie die Figg. 9—12 auf Taf. I zeigen, zusammenzieht und Vorsprünge erhält, an welche sich, durch eine dunklere Stelle getrennt, die hellen Enden der Büscheläste ansetzen.

Auf der Kathode schrumpft bei vergrössertem Drucke das negative Glimmlicht zu kleinen Häufchen zusammen, bestehend aus einem röthlichen Fleck auf der Oberfläche der Kugel und einer frei darüber schwebenden blauen Schale, welche ihre konkave Seite der Anode zuwendet. In jede Schale hinein ragt die Spitze eines röthlichen Lichtpinsels, welche stets durch einen dunkeln Raum von der Schale getrennt bleibt und öfters helle und dunkle Schichten zeigt. Die Länge der Lichtpinsel bleibt aber stets sehr viel geringer als die der Aeste des positiven Büschels. Durch Zunahme des Druckes wird das Auftreten der Büschelentladung sehr begünstigt.

c) Die Streifenentladung.

Schaltet man beim vorigen Versuche die Funkenstrecke statt auf der positiven auf der negativen Seite ein, so entsteht die in den Figg. 13—16 der Taf. I dargestellte Streifenentladung. Das positive Glimmlicht schrumpft sowohl der Dicke, wie der Ausdehnung nach stark zusammen und sendet einen grossen, zusammenhängenden oder in einzelne tellerförmige Schichten aufgelösten Lichtkegel aus, welcher in einiger Entfernung von der Kathode von dem sog. „Trennungsraum“ scharf abgeschnitten ist. Die Kathode ist vollständig von blauem Glimmlicht eingehüllt. Das von diesem ausstrahlende

---

1) Vgl. E. Wiedemann, Wied. Ann. **20**, 757, 1883.

diffuse blaue Licht erscheint aus einzelnen geradlinigen[1]) Strahlen zusammengesetzt, welche (ähnlich wie die sog. Kathodenstrahlen) senkrecht zur Oberfläche der Kathode stehen.

Die Streifenentladung bildet sich um so leichter, je geringer der Luftdruck ist. Bei den geringsten Drucken überzieht das positive Glimmlicht die ganze Kugel und die Schichten erfüllen den ganzen Querschnitt des Gefässes, erstrecken sich aber nur auf geringe Entfernung von der Anode und gehen auch seitlich von der Kugel aus, sich rückwärts krümmend, also (wie auch die freischwebenden) der Kathode die konvexe Seite zukehrend.

d) Die Funkenentladung.

Verbindet man die Elektroden mit den Belegungen eines Kondensators von etwa 8 Mikrofarad, so treten, wie schon früher bemerkt, bei derselben (mittleren) Stromstärke, unter welcher sonst Glimmentladitng erfolgt, mit oder ohne eingeschaltete Funkenstrecken glänzende Funkenentladungen auf,[2]) wie sie die Figg. 5—8 der Taf. I andeuten.

Charakteristisch für diese Funkenentladungen ist die Abwesenheit der Glimmlichthüllen. Sie endigen beiderseits in sehr hellen, Metalldampf aussendenden Punkten. Bei Vergrösserung der Stromstärke wird die Lichterscheinung scheinbar kontinuirlich — sie geht in den Lichtbogen über.

In der Nähe des hellen Punktes an der Kathode zeigen sich sowohl im Funken, wie im Lichtbogen helle und dunkle Schichten und häufig ist die ganze Lichtsäule geschichtet, doch fehlt die Schichtung in Luft von gewöhnlicher Dichte.

C. Einfluss der Elektrodendistanz.

Die Figur 5 zeigt die vier Entladungsarten bei sehr genäherten spitzen Elektroden bei einem Druck von $^1/_2$ mm. Man sieht daraus: „Positives Licht kann nicht in den dunkeln Kathodenraum eintreten. Es verschmilzt bei grosser Annäherung mit dem negativen scheinbar zu einer einzigen Lichtmasse.“

Wurden statt der spitzen Elektroden Platten gewählt, so traten im Wesentlichen dieselben Erscheinungen ein, wie dies die Figur 6 zeigt. Ebenso auch bei einer Platte und einer Spitze (Fig. 7 und 8). „Ist die Platte positiv (die Spitze negativ), so vermag sich das positive Glimmlicht an derselben zu halten, ist dagegen die Platte negativ (die Spitze positiv), so werden positives Glimm- und Büschellicht zurückgedrängt.“

1) Bei höheren Drucken sind dieselben gegen die Anode hingebogen.

2) Diese Funkenentladungen im Vakuum sind gelegentlich schon von Plücker und Hittorf wahrgenommen, aber wohl von mir zuerst näher beschrieben worden. Insbesondere geschieht bezüglich der Schichtung von Funkenentladungen meines Wissens nirgendwo Erwähnung.

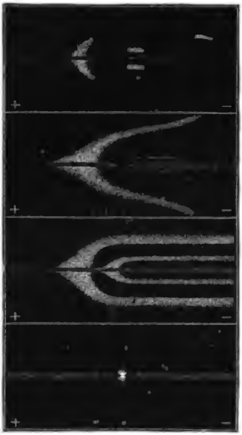


Fig. 5.

Glimm-
entladung.

Büschel-
entladung.

Streifen-
entladung.

Funken-
entladung.



Fig. 6.

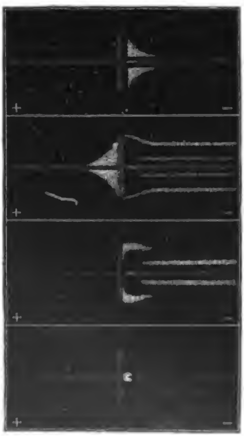


Fig. 7.

Glimm-
entladung.

Büschel-
entladung.

Streifen-
entladung.

Funken-
entladung.

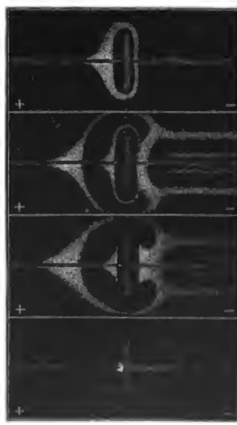


Fig. 8.

D. Entladungen in Geisslerschen Röhren.

Selbst in verhältnissmässig engen Geissler'schen Röhren lassen sich die vier Entladungsarten noch ziemlich deutlich unterscheiden.

Eigentliche Glimmentladung tritt freilich nur äusserst schwierig auf bei Anwendung sehr geringer Elektrizitätsmengen und Vermeidung aller fehlerhaften Kontakte. Die positive Elektrode ist hierbei mit schwachem Glimmlicht bedeckt, dann folgt ein grosser dunkler Raum, nur der engere Theil des Rohres ist wieder mit schwachem Licht erfüllt, das sich aber nicht bis zu der von Glimmlicht umhüllten negativen Elektrode hinzieht (Fig. 9a).

Fig. 9a. Glimmentladung.

Fig. 9b. Büschelentladung.

Fig. 9c. Streifenentladung.

Fig. 9d. Funkenentladung.

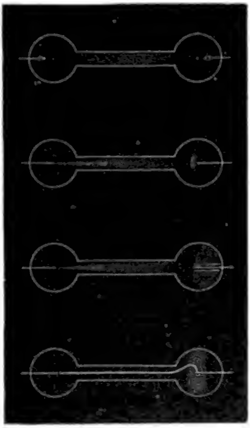


Fig. 9.

Bei der Büschelentladung besteht die auftretende Lichtmasse aus einem positiven Lichtstreifen und dem durch einen dunkeln Raum davon getrennten halbkugelförmigen blauen negativen Glimmlicht, welches die Spitze der Kathode umhüllt (Fig. 9b).

Die Streifenentladung ist die gewöhnlich beobachtete (Fig. 9c). Während bei der Büschelentladung das Glimmlicht an der Spitze der negativen Elektrode erscheint, tritt es hier an den Seitenflächen derselben auf. Ferner zeigt die Umgebung der positiven Elektrode ein mattes phosphorisches Licht.

Ging eine Funkenentladung durch dieselbe Geissler'sche Röhre, so beobachtete ich seitlich an der negativen Elektrode einen blauen Metalldampfbüschel, gegen den sich der Lichtstreifen hinzog ohne Diskontinuität, aber auch ohne das Rohr völlig auszufüllen (Fig. 9d). An der punktirten Stelle überzog sich das Glas mit dem bekannten hellgrünen Fluoreszenzlicht, welches

bei den übrigen Entladungsarten nicht auftrat, obgleich die Röhre die nämliche war (O. L., Wied. Ann. XI, 701, 1880).

Augenscheinlich ist in den besprochenen Fällen der Entladungsprozess durch die Wände des Gefässes, in welches die Gasmasse eingeschlossen ist, sehr beeinträchtigt.

Um solche Störungen zu vermeiden, habe ich deshalb bei meinen ersten Untersuchungen äusserst kleine Elektrodendistanzen benutzt, gegenüber welchen die Dimensionen der Gefässe oder die Abstände benachbarter Körper als unendlich gross angenommen werden konnten.

E. Entladungen in freier Luft.

Unter gewöhnlichen Verhältnissen zwischen den kugelförmigen Elektroden einer Influenzmaschine bilden sich die vier Entladungsarten in folgender Weise aus.

1. Die Glimmentladung besteht aus einer dünnen bläulichen Glimmlichtschicht an der Anode und einem kleinen Lichtpinsel oder leuchtenden Stern an der Kathode oder deren mehreren (Fig. 10).



Fig. 10.

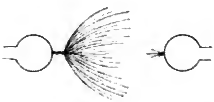


Fig. 11.

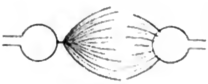


Fig. 12.



Fig. 13.

2. Büschelentladung. — Hierbei beobachtet man an der negativen Elektrode wieder den (oder die) gleichen Lichtpinsel, wie bei der Glimmentladung. Von der Oberfläche der positiven Elektrode aber schiesst ein kurzer kegelförmiger, heller Stiel aus und breitet sich in einem kleinen Abstand von der Kugel plötzlich in einen dichten Büschel von blassen Zweigen aus (Fig. 11), die in zitternder Bewegung zu sein scheinen und von einem knisternden Geräusche begleitet sind, wie es schon Faraday beschrieben hat. Bei stärkerer Wirksamkeit der Maschine werden die Aeste länger, und der Ton erhöht sich.

Zwischen dem etwas mehr röthlich leuchtenden Stiel und dem eigentlichen Büschel zeigt sich immer eine (wenn auch nicht scharf begrenzte) dunklere Stelle.

3. Streifenentladung. — Nähert man die büschelausstrahlenden Elektroden einander immer mehr, so treten plötzlich an der negativen Elektrode an Stelle des Lichtpinsels blassere, längere, häufig auch verzweigte Lichtstreifen, welche sich mit den positiven zu vereinigen suchen und gewöhnlich auch nur durch einen etwas lichtschwächern Raum von jenen getrennt sind (Fig. 12).

4. Funkenentladung. — Der bekannte helle zerknitterte, zuweilen scheinbar zickzackförmige, blitzähnliche Lichtfaden (Fig. 13).

F. Entladungen unter dem Mikroskop.

Bei solchen Versuchen bediente ich mich des in Fig. 14 dargestellten Objekttisches. Auf einer frei beweglichen Platte sind durch Glasröhren isolirt zwei federnde Platindrähte horizontal befestigt, deren abgewandte Enden in Quecksilbernäpfe eintauchen, welche mit der Stromquelle in Verbindung stehen, während die zugewandten auf kleine, durch frei bewegliche Ebonitklötzchen isolirte Platinbleche drücken, an welche die eigentlichen Elektroden angelöthet sind.

Zu Untersuchungen bei geringen Gasdrucken diente eine Gaskammer, bestehend aus einem metallenen Ring (Fig. 15), welcher seitlich viermal durch-



Fig. 14.

bohrt ist. Zwei gegenüberstehende Bohrungen dienen zur Aufnahme der Elektroden, die anderen für zwei Geissler'sche Hähnchen zum Zu- und Fortleiten des Gases. Letztere haben einen mittleren Zapfendurchmesser von nur 2—3 mm, Zapfenlänge von 5 mm, Bohrung von $^1/_2$ mm und schliessen dabei vortrefflich. Im Falle man eingehendere Untersuchungen beabsichtigt, empfiehlt es sich, die Kammer durch eine zickzackförmig gebogene, aus einem Kapillarrohr gebildete Glasfeder mit der Luftpumpe dauernd, resp. unter Zwischenfügung von Schliffen zu verbinden.

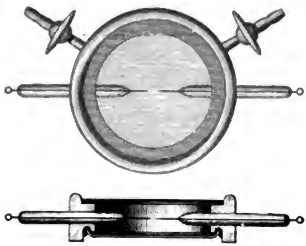


Fig. 15.

Wenn dafür gesorgt wurde, dass die negative Elektrizität vorherrschend war, konnte selbst bei sehr geringen Distanzen eine Art Glimmentladung erhalten werden, wenn auch allerdings sehr leicht Uebergang in Streifenentladung erfolgte. Es zeigte sich dabei an der positiven Elektrode das gewöhnliche diffuse Glimmlicht, der negative Lichtpinsel aber erwies sich nicht, wie er dem unbewaffneten Auge erschien, als homogen, sondern bestand aus einem kleinen Häufchen sehr hellen bläulichen Glimmlichtes, welches durch einen scharf begrenzten dunkeln Raum von dem etwas mehr röthlichen eigentlichen Lichtpinsel getrennt war (Taf. II Fig. 1).

Die Büschelentladung nimmt eine sehr eigenthümliche Form an, wie sie in Taf. II Fig. 2 dargestellt ist. Der positive Büschel hatte die Form eines Bäumchens, war jedoch nicht in Aeste zerspalten. Sein Stiel, die

Wurzel des Bäumchens, ein kurzer, hellleuchtender Kegel, war wieder durch eine etwas dunklere Stelle von dem eigentlichen Stamme getrennt. Der negative Lichtpinsel war der gleiche wie der bei der Glimmentladung.

Der positive Büschel war meist scharf begrenzt, und vor dem Ende zeigten sich zuweilen hellere und dunklere Schichten.

Aehnlich war auch das Aussehen der Streifenentladung bei sehr geringen Entfernungen unter dem Mikroskope. Von der positiven Elektrode bis nahe zur negativen ging ein röthlicher Lichtstreifen, dessen Basis eine geringe Menge positiven Glimmlichts bildete. Auf der negativen zeigte sich wie bei dem Büschel eine kleine Anhäufung von blauem Glimmlicht, welches gleichfalls durch einen scharf begrenzten dunkeln Raum von dem positiven Streifen gesondert war (Taf. II Fig. 3).

Die Funkenentladung war auch bei mikroskopischer Elektrodendistanz so wenig von der bekannten gewöhnlichen Form verschieden, dass eine nähere Beschreibung unnöthig erscheint. Die in Taf. II Fig. 4 dargestellten Intermittenzen werden weiter unten noch besprochen.

Bei sehr geringer Elektrodendistanz in verdünnter Luft wurden Büschel- und Streifenentladung einander sehr ähnlich. Der Unterschied zeigte sich nur darin, dass bei der Streifenentladung (Taf. II Fig. 5) das negative Licht durch das positive zurückgetrieben wurde, während es sich bei der Büschelentladung als blaue Halbkugel an der Spitze der Elektrode ungestört entwickelte, Fig. 6. Kleine Störungen bewirkten das plötzliche Umschlagen von der einen in die andere Entladungsart.

G. Gemischte Entladungsarten.

Die besprochenen vier Typen der Entladungen sind, wie bereits bemerkt, meiner Ansicht nach nicht prinzipiell verschieden, sondern nur Modifikationen desselben Prozesses, obschon sie in der Regel nicht stetig, sondern sprungweise in einander übergehen. Ebenso giebt es nach meiner Meinung nur einerlei Lichterzeugung, obschon in der Regel positive und negative Lichtgebilde durch Form und Farbe von einander bedeutend verschieden sind, so dass Hittorf u. A. einen prinzipiellen Unterschied beider annehmen zu müssen glauben.

Die Bildung des Funkens und Lichtbogens beruht augenscheinlich auf der Bildung von Metalldampf an der Kathode und Anode, wodurch die Entladung so sehr begünstigt wird, dass trotz der hohen in Folge dessen auftretenden Stromstärke das Glimmlicht auf einen Punkt zusammenschrumpft.

Tritt der Metalldampf nur an der einen oder andern Seite auf, so erhält man halbe Funken bezw. halbe Lichtbogen. Fig. 1 Taf. III zeigt z. B. einen halben positiven, Fig. 2 Taf. III einen halben negativen Lichtbogen.

Es kommt auch vor, dass sich die Lichtbogenhälfte eines solchen Gebildes auf einen leuchtenden Punkt reduzirt, so dass man die Erscheinung als eine zur Hälfte in Funken bezw. Lichtbogen übergegangene Glimmentladung zu bezeichnen hätte.

Die Fig. 3 Taf. III stellt eine solche halbe Glimmentladung mit positivem, die Fig. 4 Taf. III eine solche mit negativem, hellen Punkte dar.

Auffallend ist in letzterem Falle, dass sich um den hellen Punkt mehrere konzentrische, ringförmige, röthliche Schichten gebildet haben, welche der Kathode unmittelbar aufsitzen und dem sonst auftretenden röthlichen Saume (erste Kathodenschicht, Kanalstrahlen) äquivalent sind. Sie haben etwa ein Drittel der Dicke des dunkeln Kathodenraumes und werden durch diesen von der darüber schwebenden blauen Glimmlichthülle getrennt.

Diese Beobachtungsresultate, welchen sich leicht noch viele analoge anreihen liessen, zeigen, dass die beiden Hälften der Entladung, bis zu einem gewissen Grade, in der Weise von einander unabhängig sind, dass auf der einen Seite die charakteristischen Merkmale einer Entladungsart auftreten können, während gleichzeitig die andere Hälfte irgend einer andern der vier Entladungsarten entspricht, ein deutlicher Hinweis darauf, dass ein prinzipieller Unterschied der Entladungsarten nicht vorhanden ist.

Immerhin ist ersichtlich, dass eine bunte Mannigfaltigkeit von Modifikationen des Entladungsprozesses auftritt und im Folgenden soll nun versucht werden, die Vorstellungen, bezüglich des Wesens und Verlaufs dieses Prozesses, zu welchen die experimentellen Resultate Anlass geben, kurz zusammenzufassen. Es wird die Aufgabe weiterer Untersuchungen sein, die aufgestellten Hypothesen zu prüfen.

2. Das elektrische Effluvium.

Die Vorstellung, welche man sich vom Wesen des Entladungsprozesses macht, ist bedingt durch die angenommene Ansicht über das Wesen der Elektrizität. In den ältesten Zeiten herrschte die sehr naheliegende Hypothese der Existenz elektrischer Fluida, welcher gemäss der Entladungsprozess als Ausfluss der elektrischen Fluida gedeutet wurde.

A. Die elektrischen Fluida.

Wirft man kleine Kampherstückchen oder mit ätherischen Oelen getränkte kleine und leichte poröse Körperchen auf reines Wasser, so bilden sich in Folge der Differenzen der Oberflächenspannung des Wassers und der sich bildenden Lösungen wirbelnde Strömungen aus, welche auch die Körperchen selbst in Bewegung versetzen, so dass sie sich bald anzuziehen, bald abzustossen scheinen.

Es mag sein, dass ähnliche Wirkungen schon im Alterthum bekannt waren und dass man deshalb ölige Ausflüsse in mannigfacher Weise zur Erklärung von Kraftwirkungen beiziehen zu müssen glaubte. Auf demselben Standpunkt stand noch Gilbert (1600), dem wir die erste nähere Untersuchung

der elektrischen Wirkungen verdanken. Auch Boyle (1676) und Ph. J. Hartmann (1677) nahmen klebrige Ausflüsse an, welche wieder zu dem elektrisirten Körper zurückkehren und unterwegs leichte Körperchen ergreifen und mit sich hin- und herführen sollten.

Selbst Newton (1686) spricht von den „Ausflüssen, welche man durch Reiben aus den elektrischen Körpern herauspressen kann, so dünn und so fein (und doch so mächtig), dass keine bemerkbare Verminderung des Gewichts verursacht wird.“

Die Entdeckung der Leitung der Elektrizität und deren Anhäufung auf der Oberfläche der Körper, sowie von Erscheinungen, welche auf der elektrischen Influenz beruhen, durch Gray (1729) und Canton (1754) führten sodann zu der Vorstellung, die elektrischen Körper seien von einer eigenartigen elektrischen Atmosphäre umgeben. Versuche, die Dicke dieser Schicht zu bestimmen, veranlassten Franklin (1747), eine die Luft durchdringende



Fig. 16.

elektrische Materie anzunehmen, von welcher glaselektrische Körper (was aus dem Ansehen der Büschelentladungen geschlossen wurde) zu viel, harzelektrische dagegen zu wenig enthalten sollten. Symmer (1760) ersetzte später diese sogenannte unitarische Theorie durch die dualistische, d. h. die Annahme der Existenz zweier elektrischen Fluida.

Solchen Vorstellungen von dem Wesen der Elektrizität entsprechend, betrachtete man im vorigen Jahrhundert den Entladungsprozess als ein Aus- oder Einströmen des oder eines elektrischen Fluidums. Speziell die Entladungserscheinungen im elektrischen Ei oder in „Henley's leuchtendem Leiter“ schienen für die Existenz nur einer elektrischen Materie zu sprechen. Cavallo[1]) giebt von diesen Lichterscheinungen die in Fig. 16 dargestellte Abbildung, welche allerdings den Eindruck macht, als ströme eine leuchtende Materie in Form eines Büschels aus der positiven Kugel in die negative.[2]) Dieser Büschel wird als „Konusstrahl“ bezeichnet, das den negativen Pol umgebende, davon senkrecht ausstrahlende Glimmlicht als „Stern“.

Cavallo bemerkt dazu: „Man kann fragen, warum die elektrische Materie, wenn sie in eine Spitze eindringt, die Erscheinung eines Sterns, und wenn

1) Cavallo, Vollständige Abhandlung über die Elektrizität, aus dem Englischen, Leipzig 1785, S. 164. Vergl. auch J. Cuthbertson, Abhandlung von der Elektrizität, aus dem Holländischen, Leipzig 1786, S. 82 u. ff.

2) In Folge der Funkenstrecke am positiven Pol war die Entladung „Büschelentladung“, es fehlte also der dunkle Trennungsraum, welcher in Geissler'schen Röhren auftritt.

sie aus einer Spitze ausströmt, die Erscheinung eines Strahlenbüschels verursache? Der Pater Beccaria nimmt an, der Stern bilde sich durch die Schwierigkeit, welche die elektrische Materie antrifft, wenn sie sich aus der Luft, als einem elektrischen Körper, loswickeln soll; es werde z. B. ein spitziger Draht gegen einen positiv elektrisirten Körper gehalten, so theilt der Körper die elektrische Materie zuerst der Luft zwischen ihm und dem Drahte mit und der Draht muss sie erst aus der Luft erhalten. Der Strahlenbüschel, glaubt er, entstehe durch die Gewalt, mit welcher die elektrische Materie aus einer Spitze durch die Luft hindurch auf die entfernteren Lufttheile zuströme, d. i. durch die Zertheilung der anliegenden Lufttheilchen, nicht durch Anhängung an dieselben."

Nach Gren[1]) ist das elektrische Fluidum identisch mit der Lichtmaterie im Sinne der Emissionstheorie und muss deshalb beim Ausströmen in die Luft oder in den leeren Raum ein Leuchten erzeugen.

Eine Erklärung der Entladungen in festen Körpern giebt Cuthbertson Nach ihm sind die Poren eines elektrisch geladenen Glaskörpers, soweit sie genügend weit sind, mit Luft gefüllt, in den feineren Verästelungen aber, in welchen die Luft nicht einzudringen vermag, hält sich das elektrische Fluidum auf. Bei zu starker Ladung kann der Druck der Elektrizitätstheilchen auf die Wandungen der Poren so gross werden, dass der Glaskörper zersprengt wird, wie man es z. B. bei Selbstentladung von Leydener Flaschen beobachtet. Auf dieser zersprengenden Wirkung des elektrischen Fluidums beruht also die elektrische Durchbohrung fester Körper, welche Anlass gab, die Entladung als disruptive zu bezeichnen.

Cuthbertson[2]) schreibt: „Diese leuchtende Flüssigkeit ist die elektrische Materie[3]), welche von dem Boden durch die Person, welche das Glas reibt oder durch das Kissen, womit es gerieben wird, herzugeflossen ist. Durch dieses Mittel erhält das Glas viel mehr elektrische Materie, als dessen Zwischenräume halten können, sie strömt also in einen dabei stehenden Leiter wieder ab und sucht an ihren vorigen Ort zurückzukehren, um das Gleichgewicht wieder herzustellen."

Bei Beschreibung eines Experiments,[4]) welches zeigt, dass ein durch Eis gegangener Funke Weingeist zu entzünden vermag, bemerkte er: „Dieser Versuch setzt allemal die Zuschauer in grosse Verwunderung." Offenbar war also vielfach die Ansicht verbreitet, das elektrische Fluidum werde in der Büschelentladung oder im Funken direkt sichtbar und bringe den Wärmezustand bereits beim Austritt mit sich.

Bezüglich des Unterschiedes von Funken- und Büschelentladung schreibt J. Weber[5]): „Da bei jedem Uebergange von einem Körper in einen andern

1) Gren, Naturlehre, S. 1408, 1787.

2) Cuthbertson, Abhandlung über die Elektrizität, aus dem Holländischen, Leipzig, 1786, S. 189.

3) l. c. S. 3.

4) l. c. S. 131.

5) J. Weber, Vollständige Lehre von den Gesetzen der Elektrizität, München 1791, S 57.

die elektrische Materie den Widerstand der Luft zu überwinden hat, so ist leicht zu erachten, dass sich die elektrische Materie sammeln und verdichten müsse, um die widerstehende Luftschicht durchzuarbeiten; aber eben gedichtet kann sie wirksam werden auf das Auge und in Lichtgestalt erscheinen — lebhafter im Funken als im Konusstrahl, weil sich in diesem die elektrische Materie nie so stark konzentrirt, als wie in jenem."

Das Sausen bei Spitzen oder das Krachen der Funken ist nach demselben Autor die Folge der gewaltsamen Durchbrechung der Luft, der phosphorähnliche Geruch ist den Theilchen der elektrischen Materie eigenthümlich.

Poisson und Biot[1]) bildeten diese Auffassung, die Entladung als Ausströmung des elektrischen Fluidums zu betrachten, welche eintrete, sobald der Druck des Fluidums ausreichend sei, den äusseren Luftdruck zu überwinden, weiter aus und noch zu Faraday's Zeit (1838) war sie die allgemein herrschende. Dass sie nicht richtig sein kann, lehrt übrigens eine einfache Rechnung:

Beträgt z. B. die elektrische Dichte d. h. die Anzahl der Coulomb pro Quadratmeter an der Oberfläche einer Elektrode h, so ist die Kraft, mit welcher die Ladung von derselben nach aussen getrieben wird[2])

$$= \frac{9 \cdot 10^9}{9{,}81} \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot h^2 \text{ Kilogramm pro Quadratmeter.}$$

Sie ist somit gleich dem Atmosphärendruck = 10334 Kilogramm pro Quadratmeter, wenn

$$h = \sqrt{\frac{9{,}81 \cdot 10334}{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 3{,}14}}$$
$$= 0{,}00424 \text{ Coulomb pro Quadratmeter.}$$

Wäre z. B. der Radius der Kugel = 1 cm, somit die Oberfläche $4\,\pi \cdot 10^{-4}$ Quadratmeter, so müsste hiernach die Ladung $4\,\pi \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}00424 = 53 \cdot 10^{-7}$ Coulomb und die Spannung $= \frac{53 \cdot 10^{-7} \cdot 9 \cdot 10^9}{10^{-2}} = 47{,}6 \cdot 10^4 = 476000$ Volt sein. Thatsächlich beginnt aber schon lange bevor diese Spannung erreicht wird, die Elektrizität in Form von Büscheln auszuströmen. Noch ungünstiger würde sich das Resultat bei einer kleineren Kugel gestalten.

B. Elektrodenlose Röhren.

Besonders grosse Schwierigkeiten bereitete der Theorie der Ausflüsse das Auftreten von Entladungen in Gefässen ohne Elektroden.

Solche Versuche mit elektrodenlosen Röhren, welche man merkwürdiger Weise sehr oft als Errungenschaft der neuesten Zeit bezeichnet und nach Tesla

1) Poisson und Biot, Encyclopaedia Britanica, Suppl. IV, Elektricity 76, 81 etc.
2) Siehe O. L., Elektrizität und Licht, S. 139, § 65. Bezüglich dieser und aller folgenden Rechnungen gilt das am genannten Orte S. 330 Gesagte.

benennt, wurden zuerst im Jahre 1707 von Hawksbee[1]) angestellt, später von Grummert[2]) Canton[3]), Henley u. A. wiederholt und erweitert.

Man kann das plötzliche Aufleuchten eines elektrodenlosen Vakuumrohres schon beobachten bei rascher Annäherung einer evakuirten Röhre an einem geriebenen Glasstab oder umgekehrt.

Der Abt Nollet, welcher fand, dass man die äussere Belegung einer Leydener Flasche durch ein Vakuum ersetzen könne (siehe später unter „Vakuumflasche“), glaubte geradezu annehmen zu müssen, dass unter Umständen das elektrische Fluidum auch Glaswände zu durchdringen vermöge, obschon doch unter gewöhnlichen Verhältnissen Glas ein Nichtleiter ist.

Aber selbst diese Annahme würde unzureichend sein, da, wie neuere Versuche[4]) gezeigt haben, Röhren ohne Elektroden in sehr grossem Abstand von elektrischen Konduktoren zum Leuchten gebracht werden können, so dass man geradezu im Widerspruch mit der Ansicht, das Fluidum erscheine beim Austritt in die Luft als Licht, einen lichtlosen Durchgang des Fluidums durch die Luft annehmen müsste.

Cavallo[5]), welcher unter der Ueberschrift „das Nordlicht“ das Leuchten einer „luftleeren und an beiden Enden verschlossenen Glasröhre“, wenn man sie bei dem einen Ende hält und das andere an den Konduktor der Elektrisirmaschine bringt, beschreibt, bemerkt dazu: „Das Merkwürdigste bei diesem Versuche ist, dass die Flasche oder Röhre, wenn sie schon von dem ersten Leiter (Konduktor) hinweggenommen worden ist (ja sogar einige Stunden nachher, nachdem die Erscheinung des strahlenden Lichts schon aufgehört hat), wenn man sie mit der Hand angreift, sogleich aufs Neue starke Lichtstreifen zeigt, welche oft von einem Ende des Glases bis zum andern reichen.

„Es giebt zwei Ursachen, von welchen dieser Versuch abhängt: zuerst die leitende Natur des luftleeren Raumes und dann die Ladung des Glases. Denn wenn die eine Seite des Glases von dem ersten Leiter (Konduktor) berührt wird, so treibt die elektrische Materie, welche der äusseren Fläche auf der einen Seite des Glases mitgetheilt wird, die natürliche elektrische Materie der inneren Fläche des Glases aus ihrer Stelle und in die entgegengesetzte Seite der Flasche hinüber; der Uebergang dieser Materie durch den luftleeren Raum verursacht das Licht in der Flasche, welches sich mehr oder weniger zertheilt, nachdem das Vakuum unvollkommener oder vollkommener ist. Nunmehr ist der Theil der Flasche, der den ersten Leiter berührt hat, wirklich geladen; denn die äussere Seite hat einen Zusatz von elektrischer Materie erhalten, die innere aber einen Theil von der ihr zugehörigen verloren. Da nun aber die äussere Seite der Flasche nicht belegt ist, so kann sich der geladene Theil des Glases,

1) Hawksbee, Philos. transact. (1707). — Abridg. 5, 347.
2) Mechaniker in Dresden (1719—1776).
3) Priestley, Geschichte der Elektrizität, S. 190.
4) O. L., Wied. Ann. **22**, 334, 341, 1884.
5) Cavallo, Vollst. Abh. den Elektrizität, S. 166, 1785.

wenn er von dem ersten Leiter weggenommen und nicht mit der Hand angegriffen, oder von einem anderen Leiter berührt wird, nicht anders als nach und nach entladen: das ist, indem die auswendige Fläche ihre überflüssige elektrische Materie der anliegenden Luft mittheilt, nimmt die innere sie von dem anderen Ende der Flasche an; dieser Durchgang der elektrischen Materie durch den luftleeren Raum verursacht die leuchtenden Streifen, die man noch so lange nachher wahrnimmt. Legt man aber die Hand an die Flasche, so wird das Ausladen beschleunigt, daher werden die Lichtstreifen in der Flasche lebhafter und häufiger; dennoch kann sie sich bei diesem Versuche nicht auf einmal gänzlich entladen, weil die Hand nicht alle Theile des Glases auf einmal berühren kann.“[1])

P. Riess[2]) schreibt über die gleichen Erscheinungen: „Nähert man das eine Ende der exantlirten Röhre (oder Kugel) dem geladenen Konduktor einer Elektrisirmaschine, so geht ein Lichtstrom durch die Röhre, der bei der Entfernung vom Konduktor wieder erscheint. Schöner und komplizirter wird der Versuch, wenn ein Ende der Röhre an der Konduktor angelegt wird oder Funken von ihm erhält. Es geht dann ein breiter wallender Lichtstrom durch die Röhre; entfernt man sie, so zucken noch lange einzelne Blitze durch die Röhre und werden allmählich immer schwächer. Legt man hingegen das elektrisirte Ende der Röhre an einen neutralen Körper an, so erscheint wieder der helle breite Lichtstrom und dauert einige Sekunden fort. Bei der Berührung dieses Endes mit der freien Hand, so dass also die Röhre zwischen beiden Händen gehalten wird, erhält man zugleich mit dem Lichtstrom eine leichte Erschütterung. Die Erklärung dieses letzten Versuches wird auch die übrigen klar machen. Das an den Konduktor angelegte (obere) Ende der Röhre wird durch Mittheilung äusserlich positiv elektrisch, innerlich aber negativ, indem die positive Influenzelektrizität leuchtend durch die Röhre nach dem in der Hand gehaltenen (unteren) Ende der Röhre geht. Durch diese positive Elektrizität wird die äussere Fläche des unteren Endes negativ. Man hat also an der Röhre zwei geladene Glasschalen, eine Schale an dem oberen Ende, die äusserlich, eine an dem unteren, die innerlich positive Elektrizität im Ueberschuss enthält. Bei der Entfernung der Röhre vom Konduktor zerstreut sich die positive Elektrizität der oberen Schale in die Luft, oder wird durch Anlegung an einen neutralen Körper abgeleitet und in beiden Fällen vereinigen sich die entgegengesetzten Elektrizitäten der inneren Oberfläche, indem sie leuchtend durch die Röhre gehen. Fasst man beide Enden mit den Händen, so ist der Erfolg so, als ob man zwei Flaschen der Franklin'schen Batterie, die eine an der äusseren, die andere an der inneren Belegung berührte, indem der luftver-

1) Das „Eindringen der Elektrizität“ oder die Rückstandsbildung war anscheinend damals noch nicht bekannt. Auch beim vollständigen Eintauchen in Wasser würde sich die Röhre nicht sofort entladen haben.

2) P. Riess, Reibungselektrizität, II, 151, S. 693, 1853.

dünnte Raum im Innern der Röhre die Rolle der Drahtverbindung beider Flaschen spielt."

An diese älteren Versuche schliessen sich später diejenigen von Quet und Seguin (1858)[1]), Plücker (1859)[2]), v. Lommel[3]), Geissler[4]), Alvergniat[5]), Salet[6]), Bottomley[7]), L. Weber[8]), Edlund[9]) u. A.

Grosses Aufsehen erregten die Versuche von Tesla in New-York, die Lichterscheinungen in elektrodenlosen Vakuumröhren zu technischen Beleuchtungszwecken nutzbar zu machen.[10]) Bringt man eine solche Röhre zwischen zwei Metallschirme, welche mit den Klemmen des Tesla'schen Oeltransformators[11]) in Verbindung stehen, Fig. 17, so leuchtet sie nicht nur an beliebigen Stellen zwischen den Schirmen, sondern auch hinter und neben denselben mit solcher Helligkeit, dass man dabei lesen kann. Diese Beleuchtungsmethode

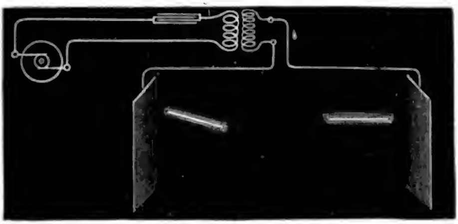


Fig. 17.

hätte u. A. den grossen Vorzug, dass die Lampen keiner Leitungsdrähte bedürfen. Sie ist deshalb in den letzten Jahren vielfach weiter ausgebildet worden, insbesondere von Moore (Elektrotechn. Zeitschr. XVII, 637, 1896).

1) Quet und Seguin, C. R. **47**, 964, 1858.
2) Plücker, Pogg. Ann. **104**, 120, 1858.
3) v. Lommel, Pogg. Ann. **133**, 152, 1868 und **141**, 460, 1870.
4) Geissler, Pogg. Ann. **135**, 333, 1868.
5) Alvergniat, C. R. **73**, 561, 1871.
6) Salet, Ann. chim. phys. (4) **28**. 20, 1873.
7) Bottomley, Nat. **23**, 218, 243, 1880.
8) L. Weber, Carl's Rep. **16**, 240, 1880.
9) Edlund, Beibl. **8**, 145, 1884.
10) Siehe Nicola Tesla's Untersuchungen über Mehrphasenströme und über Wechselströme hoher Spannung und Frequenz, deutsche Ausgabe, W. Knapp, Halle a. S. 1895.
11) An Stelle des Oeltransformators kann man z. B. auch einen Lufttransformator verwenden. Einen solchen Transformator, dessen etwa 1,5 bis 2 m weite Windungen auf einem aus Glasröhren und Holzstäben zusammengesetzten Gestell angebracht sind, habe ich 1894 für das Karlsruher Institut herstellen lassen. Die Kupferdrähte sind mit einer 2 mm dicken Guttaperchaschicht bekleidet. Die Funkenlänge beträgt bei Verwendung von zwei grossen Flaschenbatterien für die Primärfunken 32 cm, die Frequenz ist indess erheblich geringer als bei dem eigentlichen Tesla-Transformator. (Vgl. O. L., Elektr. u. Licht, S. 288.)

Weitere hierher gehörige Versuche wurden ausgeführt von J. Borgmann[1]), J. J. Thomson[2]), Pupin[3]), Schöntjes[4]), Rimington und Smith[5]), Rimington[6]) u. A.

Nach v. Lommel kann ein gut ausgekochtes Thermometer ebenfalls wie eine Vakuumröhre verwendet werden, wenn man seine Kugel (äusserlich) mit dem einen und sein oberes Ende mit dem anderen Pole des Induktionsapparates verbindet. Auch ein Wasserhammer oder Pulshammer kann unter Anwendung einer Holtz'schen Maschine zum Leuchten gebracht werden.

H. Ebert und E. Wiedemann[7]) (1893) brachten ein elektrodenloses Rohr zwischen die Platten des Endkondensators eines Lecher'schen Drahtsystems, welche bekanntlich in äusserst rascher Folge ihre Ladungen wechseln. Bei 2 mm Quecksilberdruck trat bereits bei einem Potentialgradienten von rund 3000 Volt pro Meter leuchtende Entladung ein. Bei einem von J. J. Thomson gebrauchten Rohr ergab sich als günstigster Druck 0,004 mm Quecksilber.

Ist ein Rohr mit einer Spitze versehen, so schlägt gewöhnlich bei allzugrosser Annäherung von dem Konduktor ein Funke auf diese Spitze über und durchschlägt dieselbe.

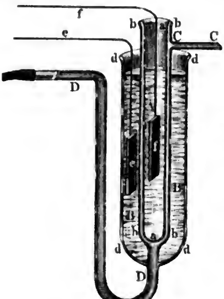


Fig. 18.

Hittorf (1869) erwähnt gelegentlich eine ähnliche Beobachtung, dass nämlich bei sehr stark evakuirten Vakuumröhren in den in der Glaswandung enthaltenen, beim Ausziehen durch Verlängerung von Gasbläschen entstandenen beiderseits geschlossenen Kanälen beim Durchgang der Hauptentladung hin und her gehende Ströme induzirt werden, welche die Kanäle gewöhnlich an den spitz zulaufenden Enden aufsprengen.

Auch in Luft von gewöhnlicher Dichte lassen sich Entladungen ohne Elektroden erhalten. Schon der Pater Beccaria[8]) z. B. fand, dass eine Franklin'sche Tafel mit zwei lose auf einander gelegten sehr ebenen Glastafeln nach dem Laden sich nicht mehr gut in die beiden Hälften trennen lässt, da die Glasplatten entgegengesetzt elektrisch geworden sind und deshalb sehr fest

1) J. Borgmann, Electrician **26**, 787, 1891.

2) J. J. Thomson, Phil. Mag. (5) **32**, 321, 445, 1891 u. Proc. Cambridge Phil. Soc. **7**, 330, 1892.

3) Pupin, Sill-Journ. (3) **43**, 463, 1892.

4) Schöntjes, Bull. de l'Ac. de Belgique (3) **24**, 321, 1892.

5) Rimington u. Smith, Phil. Mag. (5) **35**, 68, 1893.

6) Rimington, Phil. Mag. (5) **35**, 506, 1893.

7) H. Ebert und E. Wiedemann, Wied. Ann. **49**, 22, 1893 u. **50**, 15, 1893. Warburg, Wied. Ann. **54**, 730, 1895.

8) Siehe Cavallo, Abh. von d. Elektrizität, 251, 1785.

auf einander haften. Trennt man sie gewaltsam im Dunkeln, so zeigen sich Lichtstrahlen zwischen ihren inneren Oberflächen. Die Erscheinung ist natürlich bedingt durch die Entladung in dem in elektrischer Beziehung relativ zu Glas weniger festen Luftraum zwischen den beiden Glasplatten. Man kann das Auftreten dieser Entladungserscheinungen, des sog. Effluviums, sehr gut bei durchsichtig konstruirten Ozonröhren, z. B. bei der von Wislicenus herrührenden Form (Fig. 18) erkennen. Die Belegungen sind Schwefelsäuremengen in den Gefässen *A* und *B*, welchen der Strom durch die Elektroden *e* und *f* zugeleitet wird. Sobald die Elektroden (*e*, *f*) auf genügend hohe Spannung gebracht werden, tritt in dem engen Zwischenraum zwischen den Glascylindern *bb* und *aa* Entladung ein.

3. Faraday's elektrische Induktionslinien.

Wie bereits erwähnt, hatten die Versuche Gray's (1729) über die elektrische Kapazität hohler und massiver leitender Würfel zu dem Ergebniss geführt, die innere Beschaffenheit eines Leiters sei hinsichtlich seiner Kapazität gleichgültig. Dieses Resultat fand seine Erklärung darin, dass sich in Höhlungen elektrisirter Körper überhaupt keine Elektrizität vorfindet, was mittelst des sog. „elektrisirten Bechers“[1]) direkt nachgewiesen werden konnte. Man wurde dadurch zu der Vorstellung geführt, die Elektrizität umgebe den Körper in Form einer Atmosphäre.

Franklin war der erste, welcher den Nachweis führte, dass, wenn eine solche elektrische Atmosphäre auf der Oberfläche elektrisirter Körper vorhanden ist, sie jedenfalls nicht durch eine scharfe Grenze gegen die Luft abgesondert sein kann. Wäre dies nämlich der Fall, so müsste bei Erhöhung der Spannung die Luft zurückgetrieben werden. Als er aber einen Konduktor in eine mit Manometer versehene geschlossene Flasche brachte, so zeigte sich beim Elektrisiren nicht die geringste Zunahme des Druckes. Existirt also überhaupt ein elektrisches Fluidum, so ist man genöthigt anzunehmen, dass dasselbe die Luft durchdringt.

Wäre dies aber der Fall, so könnte man weiterhin erwarten, dass bei Bewegung der Luft etwa beim Blasen auf den Konduktor diese elektrische Atmosphäre mit der Luft fortgenommen wird. Dass auch dies nicht der Fall ist, zeigte Franklin dadurch, dass er einen an eine lange Seidenschnur gebundenen elektrisirten Konduktor wie eine Schleuder in raschen Umschwung versetzte und nach einiger Zeit die Abnahme der Spannung konstatirte. Sie zeigte sich nicht grösser, als wenn der Konduktor in Ruhe gewesen war.

1) Siehe Cavallo, Abhandl. zur Elektr. S. 99 und S. 146, 1786 und Coulomb, Mémoires de l'Académie, 1786, S. 67, 69 und 1787, S. 452.

Somit kann keinerlei Reibung zwischen Lufttheilchen und Elektrizitätstheilchen existiren, letztere können die Luft frei durchdringen.

Man kann nun weiter fragen, wie weit reicht die einen elektrischen Körper umgebende unsichtbare die Luft durchdringende Atmosphäre des elektrischen Fluidums und welches ist das Maximum des Ueberschusses oder Mangels, welche bei einem gegebenen Körper (Dielektrikum) hervorgebracht werden kann?

Diese Frage zu entscheiden hat Faraday[1]) (1837) unternommen. Sein Ergebniss war: absolute Ladung eines Körpers ist überhaupt unmöglich. Führt man einem Dielektrikum an einer Stelle elektrisches Fluidum zu, so geht an einer andern Stelle genau ebensoviel heraus; es ist somit ganz unmöglich einen Ueberschuss oder Mangel zu erzeugen, vielmehr verhält sich das elektrische Fluidum so, als ob es eine den ganzen Raum ausfüllende inkompressible Flüssigkeit wäre, welche nie ihren Zusammenhang verlieren kann, alle Körper durchdringt und bei ihrer Verschiebung die Moleküle derselben in einen eigenthümlichen Spannungs- oder Polarisationszustand versetzt, der in mancher Hinsicht zu vergleichen ist mit dem Spannungszustand, in welchen ein elastischer Körper versetzt wird, wenn wir seine Form zu ändern suchen und welche ebenso wie diese alsbald wieder verschwindet, sobald die wirkende Kraft, welche die „dielektrische Verschiebung“ bezw. elastische Deformation hervorbrachte, wieder zu wirken aufhört.

An Stelle des Franklin'schen elektrischen Fluidums tritt also nach Faraday ein Zwischenmedium, welches den ganzen Weltraum erfüllt und nach der uns heute geläufigen, hauptsächlich von Maxwell verbesserten, Theorie identisch wäre mit dem Lichtäther.

Faraday selbst suchte die Hypothese der Existenz des Aethers und von Molekülen zu vermeiden. Letztere waren für ihn nur „Kraftcentra“, die durch „Kraftlinien“ mit einander in Verbindung standen. Es glückte ihm indess nicht, auf solche Art zu einer befriedigenden und anschaulichen Erklärung der Erscheinungen zu gelangen[2]), so dass seine Ausführungen lange Zeit unverstanden und unbeachtet blieben und erst durch die geniale exakte Ausarbeitung durch Maxwell in weiteren Kreisen bekannt gemacht wurden.

Auch Maxwell vermied es übrigens thunlichst, auf Hypothesen einzugehen und beschränkt sich in seinem Hauptwerk „Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus“[3]) auf Darstellung der Messung elektrischer und magnetischer Grössen und deren gegenseitige Beziehungen, ohne näher darzulegen, wie er sich die Träger jener Kräfte und deren Wirkungsweise vorgestellt hat. Immerhin können wir aus einigen älteren Arbeiten Maxwells hierüber Aufschluss erhalten. Vielleicht trifft die nachstehende Ausführung ungefähr die Vorstellungsweise von Faraday und Maxwell, und vermag so zur Erleich-

1) Faraday, Experimentaluntersuchungen I, 329, § 1169..

2) Es sei verwiesen auf das, was er über Aether und Moleküle in seinen „Gedanken über Schwingungsstrahlen“ Experimentaluntersuchungen 3, 410, 1846 sagt.

3) Deutsch von Weinstein, Berlin, Springer, 1883.

terung des Verständnisses beizutragen, wenn ihr selbstverständlich auch kein weiterer Werth beizumessen ist.

Faraday[1]) sagt: „Eine . . . mich stets beschäftigende Frage war die, ob Elektrizität eine reale und selbständige Existenz als ein Fluidum oder als zwei Fluida habe, oder ob sie bloss eine der Materie innewohnende Kraft sei, wie wir die Gravitationsanziehung auffassen. Wäre dies nach der einen oder andern Seite festgestellt, so würde es ein ungeheurer Fortschritt unserer Erkenntniss sein; und da sie von direktester und wesentlichster Tragweite für meine Vorstellungen ist, so habe ich mich stets nach Versuchen umgesehen, welche diese grosse Frage auf irgend eine Weise aufzuklären vermöchten. Um zu prüfen, ob die Elektrizität eine von der Materie getrennte Existenz habe, versuchte ich, irgend einer Substanz eine unabhängige Ladung mit dem positiven oder negativen Agens allein zu ertheilen; allein gerade das Fehlschlagen aller derartiger Versuche, welche Substanz auch immer gewählt, oder welche Mittel zur Erregung oder Entwicklung der Elektrizität auch angewandt werden mochten, drängten mich zu allererst dazu, Induktion als eine Wirkung der materiellen Theilchen zu betrachten, von denen jedes beide Kräfte in genau gleichem Betrage entwickelt enthalte.“ . . . . „Alle Ladung wird durch Induktion aufrecht erhalten. Alle Erscheinungen der Intensität (Spannung) schliessen das Prinzip der Induktion in sich ein. Alle Erregung beruht auf Induktion oder gehört direkt zu ihr. Alle Ströme involviren eine vorausgehende Intensität (Spannung) und demnach eine vorausgehende Induktion (Polarisation).“[2])

Faraday vermeidet es absichtlich sich näher darüber auszusprechen, was man unter „Polarisation“ verstehen soll, giebt aber doch gelegentlich, genöthigt durch geltend gemachte Einwendungen, eine Art und Weise an, wie man sich dieselbe anschaulich vorstellen könnte. Er schreibt[3]): „In meiner Abhandlung betrachte ich alle Induktion als beruhend auf der Wirkung aneinanderstossender Theilchen, d. h. ich nehme an, dass isolirende Körper aus Theilchen bestehen, die an und für sich Leiter sind, die aber nicht von einem zum andern leiten, wenn die Intensität der Wirkung[4]) unter einer gegebenen Grenze bleibt und dass die induzirende Wirkung eines Körpers auf entfernte Leiter dadurch erfolgt, dass alle Theile in dem zwischen jenem und diesen liegenden Dielektrikum sich polarisiren. Ich habe mich des Ausdruckes aneinanderstossend bedient . . . . Derselbe ist nicht ganz korrekt. Ich habe ihn gewählt, weil er in seiner allgemeinen Bedeutung mich in den Stand setzt, die Theorie klar und leicht auseinander zu setzen. Ich verstehe darunter solche Theilchen, welche einander die nächsten sind.“

---

1) Faraday, Experimentaluntersuchungen I, S. 328, § 1168, 1837.

2) Unter „Induktion“ versteht Faraday (§ 1298) den Polarisationszustand des Dielektrikums, bei welchem jedes Theilchen entgegengesetzte Pole besitzt. Vgl. hierzu auch H. Hertz, Ausbreitung der elektrischen Kraft, Leipzig 1892, S. 25.

3) Faraday, Experimentaluntersuchungen III, S. 238, 1840.

4) Unter „Intensität“ verstand man damals „Spannung“.

Auch die Metalle lassen sich, sagt Faraday[1]), polarisiren (l. c. S. 243), „ich glaube jedoch nicht, dass die Polarisation der Theilchen guter Leiter eine Intensität (Spannung) erreicht, welche der der Theilchen schlechter Leiter irgend gleich käme; ich denke mir im Gegentheil, dass die aneinanderstossenden polarisirten Theilchen guter Leiter sich bei einem sehr niedrigen Intensitätsgrade der Polarisation gegenseitig entladen.“

Um nun bezüglich der Natur dieses „Polarisations- oder Spannungszustandes und der übrigen in Betracht kommenden Begriffe bessere Anschauung zu erhalten, wollen wir ein Beispiel aus der Mechanik beiziehen.[2])

In einem mit Leimgallerte gefüllten Gefäss, Fig. 19, befinde sich ein mit Wasser gefüllter an beiden Enden offener Cylinder, in welchem sich ein dicht anschliessender Kolben bewegen kann. Wird der Kolben etwa durch den Druck einer Spiralfeder im Sinne des Pfeils verschoben, so tritt aus dem einen Ende des Cylinders Wasser aus, am andern strömt Wasser nach und diese Strömung des Wassers ergänzt sich durch eine Verschiebung der ganzen Gallerte zu einem geschlossenen Strom, bei welchem in derselben Zeit durch jeden Querschnitt die gleiche Raummenge Substanz hindurch geht. Der Strom kann natürlich nicht lange anhalten, da bald die elastische Rückwirkung (Spannung) der Gallerte der treibenden Kraft der Spiralfeder das Gleichgewicht hält. Ist der Druck der Spiralfeder zu stark, so verschwindet der Spannungszustand plötzlich unter Zerreissung der Gallerte, ebenso wie der elektrische Spannungszustand eines Kondensators im Falle der disruptiven Selbstentladung.

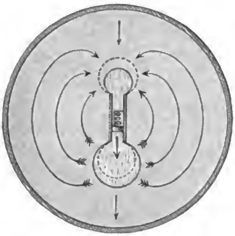


Fig. 19.

Ist der Druck mässig, sind aber die Poren der Leimmasse für Wasser durchlässig, so verschwindet der Spannungszustand ganz allmählich, wobei die Leimtheilchen nach und nach wieder in ihre anfänglichen Lagen zurückkehren, während das Wasser an seiner Stelle verharrt. Dieser letztere Fall wäre analog der elektrolytischen Leitung des Dielektrikums. Der Wasserströmung im Cylinder entspricht die elektrische Strömung in der Elektrizitätsquelle und in den Zuleitungen zu den Belegungen, der Federkraft der Spiralfeder die elektromotorische Kraft, der Verschiebung der Gallerte die elektrische Verschiebung in der isolirenden Zwischenschicht des Kondensators, welche den Strom in

1) Faraday, Experimentaluntersuchungen III, 243, 1840.

2) O. L., Elektrizität und Licht S. 72, 1895; J. Müller-O. Lehmann, Grundriss der Physik S. 494 und Molekularphysik II, S. 357, 1889. Aehnliche Gleichnisse siehe Oliver J. Lodge, Neueste Anschauungen über Elektrizität, deutsch von Anna von Helmholtz und Estelle Du Bois-Reymond, Leipzig 1896; Ebert, Magnetische Kraftfelder, Leipzig 1897; Weyde, Elektrotechn. Zeitschr. 18, 526, 538, 1897.

den Zuleitungen (wie die gleichstarke Ablenkung einer Magnetnadel beweist) zu einem geschlossenen von überall gleicher Stärke ergänzt, und endlich dem langsamen Durchsickern des Wassers durch die Poren der Gallerte entspricht der schwache Leitungsstrom durch das Dielektrikum, wenn dasselbe ein schlechter Isolator ist.

Die Zeit, in welcher die Spannung auf den e (= 2,71828) ten Theil ihres anfänglichen Werthes gesunken ist, nennt man in beiden Fällen die Relaxationszeit. Dieselbe ist für gute Isolatoren, ebenso wie für vollkommen elastische Körper sehr gross, für gute Leiter dagegen, ebenso wie für vollkommen plastische Körper sehr klein.

Der Aether müsste also dieser Vorstellungsweise gemäss ebenfalls aus einem gallertartigen schwammigen Gerüst gröberer Theilchen bestehen, in

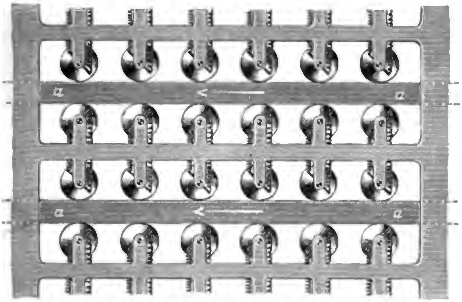


Fig. 20.

welchem sich feinere Körperchen, die Maxwell'schen „Zwischenkörperchen", bewegen, und zwar unter starker Reibung an den ersteren.

Die Fig. 20 stellt noch einen ähnlichen Mechanismus dar, bei welchem ersichtlich ist, dass die Spannungsenergie auch ohne eine Verschiebung des Gerüstes möglich ist, falls nämlich Torsion einzelner Theile eintreten kann. Die Ströme von Zwischenkörperchen sind ersetzt durch gerade Stangen *a*, *a* *a*, *a*, welche sich an kleinen, paarweise durch je zwei Spiralfedern verbundenen Rollen stark reiben. In Folge dieser Reibung, welche man sich durch ineinandergreifende Zähne an Stangen und Rädern hervorgebracht denken kann, verdrehen sich je zwei verbundene Rollen bei Verschiebung der Stangen in der Richtung der Pfeile derart, dass die sie verbindenden Spiralfedern, wie aus der Figur zu ersehen, deformirt werden und der Verschiebung der Stangen wachsenden Widerstand entgegensetzen. Hält die treibende Kraft diesem Widerstande gerade das Gleichgewicht, so würde dies dem Zustand der völligen Ladung des Kondensators entsprechen.

Bei ungenügender Reibung zwischen Stangen und Rollen wird der Spannungszustand allmählich verschwinden, analog der Entladung durch Leitung; die Aufhebung der Spannung durch Zerbrechen der Federn wäre das Analogon der disruptiven Entladung.

Was nun bei diesem mechanischen Gleichniss die Zahnstangen sind, sind bei Faraday[1]) die „Kraftlinien“, welche „materielle Theilchen und Massen mit einander verknüpfen“ und „den Aether entbehrlich scheinen lassen“, nach Maxwell[2]) der „Aether“, welcher auch der Träger der Lichterscheinungen ist und den er zuweilen auch „Elektrizität“ nennt. Doch sagt auch Faraday[3]): „Es kann dieses Uebertragen (der Kraft) eine Funktion des Aethers sein, denn es ist nicht unwahrscheinlich, dass, wenn der Aether überhaupt existirt, er

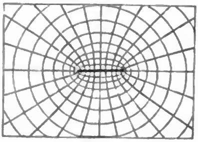


Fig. 21.

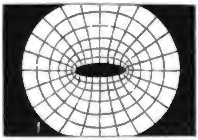


Fig. 22.

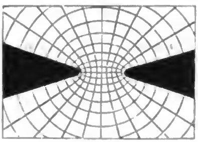


Fig. 23.

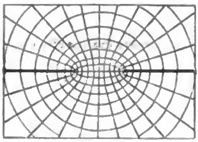


Fig. 24.

auch noch zu andern Thätigkeiten als bloss zum Fortleiten von Strahlungen herangezogen werden dürfte.“

Die Figg. 21—24, welche den Verlauf der Kraft- und Niveaulinien in verschiedenen Fällen darstellen und, falls man in die Felder, den Kraftlinien folgend, abwechselnd + und —Zeichen einträgt oder dieselben einseitig schattirt[4]), auch die Richtung und Stärke des Polarisationszustandes durch den Abfall und die Stärke der Schattirung erkennen lassen, dürften geeignet erscheinen, eine Vorstellung von dem Wesen des Faraday'schen Polarisationszustandes in der Nähe geladener Konduktoren zu geben, namentlich wenn man berücksichtigt, dass jede Kraftlinie gewissermaassen als ein an beiden Enden befestigter

1) Faraday, Experimentaluntersuchungen **3**, 413, 1846.

2) Maxwell, Elektrizität und Magnetismus **2**, 537 (Bd. I, S. 64).

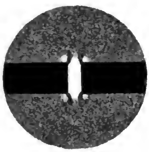
3) Faraday, Experimentaluntersuchungen **3**, 299, 1851.

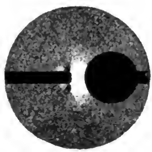
4) Siehe die Tafeln in O. L., Elektrizität und Licht, Braunschweig 1895.

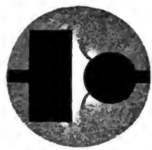
gespannter Faden zu betrachten ist, der gleichzeitig das Bestreben hat, sich der Dicke nach auszudehnen, also auf die angrenzenden Fäden einen Druck ausübt.

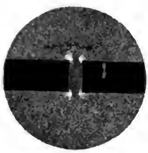
Das Vorhandensein eines Polarisationszustandes in der Nähe geladener Konduktoren lässt sich z. B. dadurch erkennen, dass sich isolirende durchsichtige Flüssigkeiten, im polarisirten Lichte untersucht, zwischen zwei genügend stark elektrisirte Elektroden gebracht, wie zuerst Kerr (1879) beobachtete, doppeltbrechend erweisen.

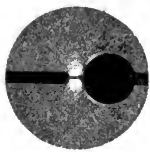
Die Figg. 25—30 stellen beispielsweise (nach Röntgen) die Erscheinungen bei verschieden geformten Elektroden zwischen gekreuzten Nikols dar, wobei die Schwingungsrichtungen der letzteren die Achsen der Elektroden unter 45° (obere Figg.) bezw. 90° und 0° (untere Figg.) schneiden. An

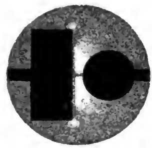

Fig. 25.


Fig. 26.


Fig. 27.


Fig. 28.


Fig. 29.


Fig. 30.

allen Punkten fallen die Schwingungsrichtungen in der Flüssigkeit mit den Kraft- und Niveaulinien zusammen. Eine Verschiedenheit zeigt sich ausser in Bezug auf die Stärke der Doppelbrechung auch in Bezug auf den Sinn derselben, indem z. B. Schwefelkohlenstoff positive, Alkohol negative Doppelbrechung erhält. Bei letzterem wird also der ordentliche, parallel der Kraftlinie polarisirte Strahl verzögert, bei ersterem der dazu senkrechte.

Nach Blondlot (1888) tritt die Doppelbrechung momentan mit der Ladung auf und verschwindet mit derselben, wenigstens konnten unter Zuhülfenahme eines rotirenden Spiegels noch Schwankungen der Ladung von nur $^1/_{20000}$ Sekunde Dauer deutlich wahrgenommen werden.

Vielleicht hängen diese Erscheinungen damit zusammen, dass die Moleküle selbst anisotrop sind, wie ich es aus dem Auftreten flüssiger Krystalle[1]) oder

1) O. L., Wied. Ann. **40**. 401, 1890; **41**. 525. 1890. — Zeitschr. f. Krystallogr. **18**, 457, 1890.

krystallinischer Flüssigkeiten[1]) geschlossen habe und worauf auch (mit Berücksichtigung der orientirenden Wirkung von Krystallflächen[2]) der Umstand hinweist, dass nach F. Braun (Wied. Ann. **59**, 673 und 682, 1896) dünne Flüssigkeitsschichten auf Krystalloberflächen orientirte Leitungsfähigkeit und Rückstandsbildung zeigen.

Die Analogie zwischen elastischer Spannung und elektrischem Polarisationszustand geht, wie Maxwell[3]) gezeigt hat, so weit, dass auch die mathematischen Ausdrücke für elastische und elektrische Energie der Form nach völlig übereinstimmen.



Fig. 31.

Wird etwa eine dicke Kautschukplatte, wie Fig. 31 andeutet, zwischen zwei starke Pressplatten eingespannt und durch Anziehen der Schrauben derart gepresst, dass pro Quadratmeter ein Druck von H Kilogramm ausgeübt wird, so ist die hierzu verbrauchte Arbeit oder die in der Kautschukplatte aufgespeicherte Spannungsenergie

$$A = \frac{1}{2g} \cdot \frac{v}{\varepsilon} \cdot H^2 \text{ Kilogrammmeter,}$$

wenn v das Volumen der Platte in Kubikmetern und ε eine Konstante bedeutet, welche definirt ist durch die Gleichung $\varepsilon = \frac{10^6}{g} \cdot E$, worin g die Fallbeschleunigung in Metern ($= 9{,}81$) und E den Elastizitätsmodul des Kautschuks (in üblicher Weise bezogen auf Kilogramm, Länge in Metern und Querschnitt in Quadratmillimetern) bedeutet.[4])

Wäre beispielsweise die Seitenlänge der Kautschukplatte = 20 cm, die Höhe = 4 cm, der Gesammtdruck = 13 kg, somit der Druck pro Quadratmeter

1) O. L., Zeitschr. f. phys. Chem. **5**, 427, 1890.

2) O. L., Molekularphysik I, 393; Zeitschrift für phys. Chemie **18**, 91, 1895 und Wied. Ann. **56**, 771, 1895.

3) Siehe Maxwell, Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus, deutsch von Weinstein 1, S. 63.

4) Die Formel ergiebt sich durch folgende Betrachtung. Ist l die Dicke (in Metern) und q der Flächeninhalt der Platte (in Quadratmeter), so ist die bei Zusammenpressung um d Meter geleistete Arbeit, da der Druck nach und nach von o bis $q \cdot H = E \cdot \frac{d \cdot q \cdot 10^6}{l}$ Kilogramm anwächst, also im Mittel den Werth $\frac{E}{2} \cdot \frac{d \cdot 10^6 \cdot q}{l}$ Kilogramm besitzt:

$$A = \frac{E}{2} \cdot \frac{d \cdot q \cdot 10^6 \cdot d}{l} = \frac{E}{2} \cdot \frac{q \cdot 10^6}{l} \cdot \left(\frac{H \cdot 10^{-6} \cdot l}{E}\right)^2 = \frac{10^{-6}}{2 \cdot E} \cdot v \cdot H^2 \text{ Kilogramm.}$$

Der Elastizitätsmodul E, welcher eine bestimmte Kraft in der mit dem Orte, wo man sich zufällig befindet, wechselnden Kilogrammeinheit ausdrückt, ist keine konstante Zahl, sondern proportional zur Fallbeschleunigung. Man kann also setzen $E = \varepsilon \cdot g \cdot 10^{-6}$, wobei ε eine wahre Konstante ist und den Proportionalitätsfaktor für den auf einen Quadratmeter Querschnitt bezogenen Elektrizitätsmodul bedeutet. (Vgl. O. L., Zeitschr. z. Förd. d. phys. u. chem. Unterrichts **10**, 84, 1897.) Somit ist

$$A = \frac{1}{2g} \cdot \frac{v}{\varepsilon} \cdot H^2 \text{ Kilogramm.}$$

= 316 Kilogramm und der Elastizitätsmodul des Kautschuks (entsprechend einer Kompression um 0,126 mm) = 0,1, so wäre die in der gepressten Platte aufgespeicherte Energie

$$A = \frac{1}{2 \cdot 9{,}81} \cdot \frac{16 \cdot 10^{-4} \cdot 9{,}81}{10^6 \cdot 0{,}1} \cdot 316^2 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ Kilogrammmeter}$$

(in Karlsruhe [1]).

Die elektrische Energie.

Würde man die beiden Pressplatten durch metallische Belegungen ersetzen, und diese mit den Polen einer Elektrizitätsquelle in Verbindung bringen, welche zwischen ihnen die Feldintensität H Kilogramm [2]) pro $g/10$-Mikrocoulomb erzeugt, so wäre die zur Erzeugung dieses elektrischen Spannungszustandes (etwa durch Drehen einer Influenzmaschine) erforderliche Arbeit oder die in Form elektrischer Ladung aufgespeicherte Energie

$$A = \frac{9 \cdot 10^9}{8\pi \cdot g} \cdot \frac{v}{\eta} \cdot H^2 \text{ Kilogrammmeter}$$

wenn η die Dielektrizitätskonstante des Kautschuks bezeichnet. [3])

Der Ausdruck stimmt, wie man sieht, abgesehen von dem durch die Wahl der Maasseinheiten bedingten konstanten Faktor, der Form nach genau überein mit dem für die Energie elastischer Spannung gefundenen Ausdruck; an Stelle der elastischen Spannung tritt die elektrische Feldintensität.

Würden z. B. die Belegungen der Kautschukplatte bis zu einer Spannungsdifferenz von 25000 Volt geladen und wäre die Dielektrizitätskonstante des betreffenden Kautschuks $\eta = 2{,}7$, so würde sich ergeben:

---

1) Da sich der Werth eines Kilogrammmeters mit dem Orte ebenso wie der des Kilogrammgewichts, d. h. proportional zu g ändert, ist der Werth der Energie für einen andern Ort (entsprechend dem veränderten Werthe des Elastizitätsmoduls) durch eine andere Zahl gegeben.

2) d. h. ein elektrisches Feld von solcher Stärke, dass auf die Masse $g/10$-Mikrocoulomb ($= g \cdot 10^{-7}$ Coulomb) die Kraft H Kilogramm ausgeübt wird.

3) Die Formel ergiebt sich durch folgende Ueberlegung. Die in einem Kondensator enthaltene Energie ist, wenn Q die Ladung in Coulomb und E die Spannungsdifferenz der Belegungen in Volt: $A = \frac{1}{2g} \cdot Q \cdot E$ Kilogrammmeter. Nun ist, wenn C die Kapazität des Kondensators in Farad und η die Dielektrizitätskonstante bedeuten:

$$C = \frac{Q}{E} \text{ und } C = \frac{\eta \cdot q}{9 \cdot 10^9 \cdot 4\pi l}, \text{ somit}$$

$$A = \frac{1}{2g} \cdot \frac{Q^2}{C} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 4\pi l}{2g \cdot q \cdot \eta} \cdot Q^2 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2\pi \cdot v}{g \cdot \eta} \left(\frac{Q}{q}\right)^2.$$

Da nun von einem Coulomb 4π Kraftlinien ausgehen, ist die gesammte Kraftlinienzahl $= 4\pi Q$ und die Feldintensität, welche gleich der auf ein Quadratmeter entfallenden Zahl Kraftlinien ist, $H = \frac{4\pi Q}{q}$, somit $\left(\frac{Q}{q}\right)^2 = \left(\frac{H}{4\pi}\right)^2$ und $A = \frac{9 \cdot 10^9}{8 g \cdot \pi} \cdot \frac{v}{\eta} \cdot H^2$ Kilogrammmeter.

$$Q = E \cdot C = \frac{25000 \cdot 2{,}7 \cdot 4 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^9 \cdot 4\pi \cdot 10^{-2}} = 5{,}9 \cdot 10^{-7} \text{ Coulomb}$$
$$= 0{,}59 \text{ Mikrocoulomb},$$
$$H = \frac{4\pi \cdot 5{,}9 \cdot 10^{-7}}{4 \cdot 10^{-2}} = 18{,}5 \cdot 10^{-5} \text{ und}$$
$$A = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 16 \cdot 10^{-4} \cdot 18{,}5^2 \cdot 10^{-10}}{8 \cdot 3{,}14 \cdot 9{,}81 \cdot 2{,}7} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ Kilogrammmeter},$$

also zufällig ebenso gross wie die Energie im Falle der elastischen Pressung.

Besteht nun das Wesen der elektrischen „Ladung" in diesem Spannungszustande des Dielektrikums, wobei nicht der inkompressible Aether, sondern die materiellen Moleküle eine wesentliche Aenderung erleiden, so muss auch die „Entladung", welche nichts anderes ist als eine Ueberschreitung der dielektrischen Elastizitätsgrenze, ihrem Wesen nach ein in den materiellen Molekülen sich vollziehender Prozess sein.

Faraday[1]) schreibt deshalb: Die auf eine Molekularwirkung des Dielektrikums begründete Induktionstheorie nimmt an, „dass während der Induktion Theilchen des Dielektrikums sich in einem gewissen Polarisationszustande befinden und dass die Spannung dieses Zustandes in jedem Theilchen um so höher steigt, je mehr die Induktion gesteigert wird, entweder durch Annäherung der induzirenden Flächen, durch Abänderung der Gestalt, durch Verstärkung der ursprünglichen Kraft oder auf anderem Wege, bis endlich, wenn die Spannung der Theilchen den höchsten Grad erreicht hat, den sie, ohne das ganze Arrangement zu zerstören, ertragen können, unmittelbar darauf Entladung eintritt."

Eine wichtige Bestätigung dieser Theorie glaubte Faraday in den Untersuchungsergebnissen von Harris[2]) erblicken zu dürfen, welchen zufolge die Entladungspotentialdifferenz dem Abstande der Elektroden und der Dichtigkeit des Gases proportional, dagegen unabhängig von dessen Temperatur sein sollte. Diese Gesetze schienen sich aus seiner Theorie ohne weiteres zu ergeben. „Denn, sagt er[3]), wenn, wie in Harris Versuch, der Abstand (der Moleküle) auf die Hälfte reduzirt wird, so ist zur Entladung durch diesen Zwischenraum nur halb so viel Elektrizität (Spannung) erforderlich, als bei dem urspünglichen, und es ist auch klar, dass alsdann nur halb so viel Moleküle dazwischen liegen, deren vereinte Kräfte der Entladung widerstehen .... Wenn die Elektrizitätsmenge und der Abstand gleich bleiben, während die Luft auf die Hälfte verdünnt wird, dann ist zwar die Hälfte der Theilchen des Dielektrikums fortgeschafft, aber die andere Hälfte nimmt den doppelten Betrag an polarer Spannung an und deshalb bleiben die Induktionskräfte sich gleich und

1) Faraday, Experimentaluntersuchungen, deutsch von Kalischer, Bd. I, S. 392, § 1368, 1838.

2) Harris, Phil. Trans. 1834, 225.

3) l. c. Nr. 1371, S. 393, Bd. I. Vgl. auch Paalzow und Neesen, Wied. Ann. **56**, 276, 1895.

das Resultat ändert sich nicht, so lange Induktion und Isolation aufrecht erhalten werden. Allein hinsichtlich der Entladung liegt die Sache ganz anders; denn da in der verdünnten Luft nur halb so viel elektrische Theilchen vorhanden sind, so werden diese durch die Hälfte der früheren Elektrizitätsmenge auf die Entladungsintensität (Spannung) gebracht, es erfolgt demnach Entladung."

4. Die dielektrische Festigkeit.

Genauere Versuche haben später ergeben, dass das Harris'sche Schlagweitengesetz nicht ganz zutreffend sein kann, liefert es doch für ∞ Entfernung der Elektroden ∞ grosse Spannungsdifferenz; während in Wirklichkeit letztere mit zunehmender Schlagweite (bei kugelförmigen Elektroden) sich einem Maximalwerthe nähert. Bei einer Spannung von 500 000 Volt würden sich z. B. Kugeln von 16 cm Durchmesser in jedem beliebigen Abstand frei in die Luft entladen,[1]) in geschlossenen Räumen noch weit grössere Kugeln.

In der That bezieht sich die Faraday'sche Theorie nicht wie das Harris'sche Gesetz auf Potentialdifferenzen oder Elektrodenspannungen, sondern sagt aus, dass Entladung eintritt, sobald das Gefälle des Potentials[2]) zwischen den Elektroden einen bestimmten Werth erreicht hat, den man nach dem Vorgange von J. J. Thomson[3]) neuerdings gewöhnlich als „Entladungsgradient" bezeichnet. Es genügt dabei, wenn dieser Entladungsgradient an einer Stelle des elektrischen Feldes erreicht wird, wenigstens zur Entladung an dieser Stelle, denn die Entladung braucht nicht nothwendig, wie die alte Theorie des Ausflusses annahm, von den Elektroden auszugehen, sondern kann frei in der Luft beginnen und endigen, wie dies schon die ältesten — in jener Zeit freilich nicht richtig gedeuteten — Versuche Hawksbee's mit elektrodenlosen Röhren erkennen lassen.[4])

Benutzt man sehr grosse ebene (scheibenförmige) Elektroden in geringem Abstand, so ist allerdings nahezu das Potentialgefälle gleich der Potentialdifferenz der Elektroden dividirt durch deren Abstand (die Schlagweite), wie Fig. 32, deren linke Hälfte das System der Niveau- und Kraftlinien darstellt, während die rechte den Potentialabfall andeutet, klar übersehen lässt. Anders verhält sich dies dagegen bei zugespitzten Elektroden, für welche die Fig. 33 gilt oder für kleine Kugeln u. s. w., in welchem Falle zunächst durch Rechnung ermittelt werden muss, welches der grösste Werth des Potentialgefälles in dem inhomogenen Felde ist, denn nur dieser, nicht die Potentialdifferenz

1) Heydweiller, Wied. Ann. 48, 232, 1893.
2) Vgl. O. L., Wied. Ann. 11, 686, 1880 und Molekularphysik II, S. 233, 1889.
3) J. J. Thomson, Rec. Res. in electricity and magnetism. S. 159, 1893.
4) Vgl. O. L., Wied. Ann. 47, 476, 1892.

der Elektroden kann nach Faraday's Vorstellungen für den Eintritt der Entladung maassgebend sein.

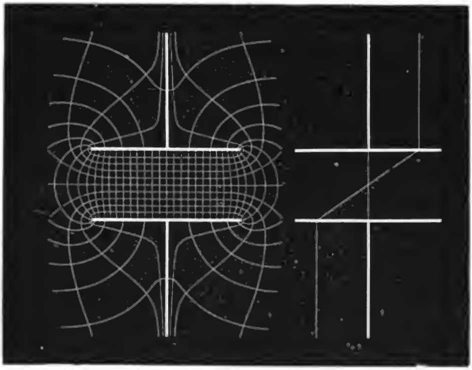


Fig. 32.

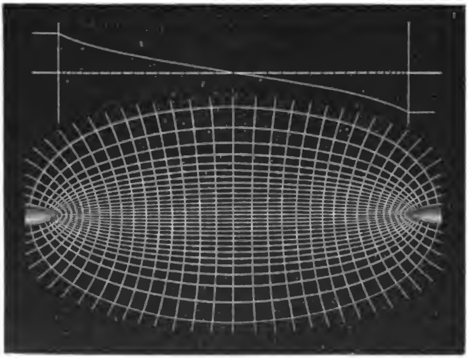


Fig. 33.

Die zahlreichen Versuche, welche nach beiden Methoden bisher ausgeführt worden sind, von: Grosse (1840); Gassiot (1844); C. F. Varley (Proc. Roy. Soc. **19**, 236, 1871); Hittorf (1874); Warren de la Rue und Hugo Müller (1875, 1876 und 1877); W. Thomson (mit Smith und Fer-

guson) (1860); Gaugain (Ann. chim. phys. (4) **8**, 75, 1866); Macfarlane (1877 und 1880); Macfarlane und Playfair (1877); Chrystal (1882); Baille (1882); Quincke (Wied. Ann. **19**, 545, 1883); G. C. Foster und Pryson (1884); Liebig (Phil. Mag. (5) **24**, 106, 1887); Jaumann (Wien. Ber. II, **97**, 765, 1888); Paschen (Wied. Ann. **37**, 69, 1889); Freyberg (Wied. Ann. **38**, 231, 1889); A. Schuster (Phil. Mag. (5) **29**, 182, 1890); Heydweiller (Wied. Ann. **48**, 227, 1893 und **61**, 541, 1897) u. A.[1]) haben bis jetzt noch nicht zu übereinstimmenden Ergebnissen geführt.

Nach Warren de la Rue und H. Müller (1884) besteht zwischen Schlagweite und Potentialdifferenz folgende Beziehung:

A. Elektroden zwei Platten:

Volt:	1000	2000	6000	9000	12 000	15 450
mm:	0,205	0,660	1,473	2,495	3,566	5,029.

B. Elektroden zwei parabolische Spitzen:

mm:	0,173	1,282	6,845	11,602	15,243	18,500.

Aus den Versuchen von Baille mit Elektroden von 18 cm Krümmungsradius ergeben sich nach Heydweiller für verschiedene Schlagweiten folgende Werthe des Entladungsgradienten in Volt pro mm:

mm:	0,015	0,025	0,05	0,1	0,2	1	2	3
Volt:	28 480	22 800	15 030	9480	6756	4420	3850	3570
mm:	4	5	6	7	8	9	10	
Volt:	3400	3320	3250	3240	3270	3250	3270.	

Aus den Versuchen von Paschen mit kugelförmigen Elektroden von 1,0, 0,5 und 0,25 cm Radius berechnet Heydweiller folgende Werthe des Gradienten:

1. Kugelradius 1 cm.

mm:	0,2	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8
Volt:	7550	5940	5070	4450	4300	4260	4320	4350	4440	4540.

2. Kugelradius 5 mm.

mm:	0,1	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8
Volt:	10580	6220	5130	4850	4880	5080	5390	5690	5900	6170.

3. Kugelradius 2,5 mm.

mm:	0,1	0,5	1	2	3	4	5	6
Volt:	11 290	6450	5706	5910	6360	7080	7580	7930
mm:	7	8	9	10	12	15		
Volt:	8190	8360	8350	8660	8970	9400.		

---

1) Die fehlenden Citate findet man in G. Wiedemann, Elektrizität, und O. L., Molekularphysik. Man sehe ferner G. Jaumann, Wied. Ann. **55**, 658, 1895 und Swyngedauw, Dissert. Paris 1897 und L'Eclairage électrique, 27. März 1897.

Für Kugeln von 1 cm Radius sind die zusammengehörigen Werthe von Schlagweite und Potentialdifferenz:

Schlagweite in Millimetern	Spannungsdifferenz in Volt	Schlagweite in Millimetern	Spannungsdifferenz in Volt
1	4 800	6	19 200
2	8 400	7	21 300
3	11 700	8	23 100
4	14 700	9	24 600
5	17 100	10	25 800

Es muss hier hinzugefügt werden, dass die angegebenen Zahlen nur für den ersten Funken gelten. Durch die Entladung selbst wird das Gas, wie später noch besprochen wird, in mannigfacher Weise verändert und die späteren Entladungen erfordern deshalb ein anderes, wohl stets geringeres, dem veränderten Gase entsprechendes Potentialgefälle.

Aus demselben Grunde muss man wohl unterscheiden zwischen Potential und Potentialgefälle, da z. B. (bei langsamer Zuführung der Elektrizität) durch Anhäufung elektrisirter Luft in der Nähe der einen oder anderen Elektrode das Gefälle des Potentials ein ganz anderes sein kann als dasjenige, welches sich der Theorie gemäss aus der Potentialdifferenz des Elektroden berechnet, ähnlich wie z. B. die Spannungen in einem deformirten elastischen Körper sehr wesentlich von den theoretisch berechneten abweichen können, wenn schon zuvor sog. „innere Spannungen“ vorhanden waren.

Maxwell[1]) glaubte die Abweichungen vom Schlagweitengesetz auch durch Annahme kondensirter Gasschichten an der Oberfläche der Elektroden erklären zu können, doch ist dies nach Heydweiller[2]) nicht wohl möglich. Eher dürfte meiner Ansicht nach durch elektrisirte Luftschichten die Anomalie zu erklären sein.

Solche Störungen durch elektrisirte Luft dürften stets eintreten, wenn man kleinere metallische Elektroden verwendet, welche ein sehr ungleichmässiges elektrischen Feld erzeugen.

Hat nämlich das Gas zwischen den Elektroden gleichmässige Beschaffenheit, so tritt die Entladung, weil der Entladungsgradient zuerst an der Oberfläche der Elektroden erreicht wird, zuerst dort in nicht wahrnehmbarer Form in einer unmessbar dünnen Gasschicht ein und erzeugt da, wo sie endet (an den Grenzen dieser dünnen Gasschicht) elektrisirte Luft, welche die ursprüngliche Vertheilung der Potentialwerthe erheblich ändert, so dass die Spannungsdifferenz, bei welcher sodann die Entladung sichtbar erfolgt, eine ganz andere ist als diejenige, welche dem Entladungsgradienten entspricht.

1) Maxwell, Lehrb. d. Elektrizität u. d. Magn., deutsch v. Weinstein S. 57.
2) Heydweiller, Wied. Ann. 40, 464, 1890.

A. Aenderung der Feldintensität.

Um diese Fehlerquelle zu umgehen, habe ich einen bei mechanischen Festigkeitsproben üblichen Kunstgriff nachgeahmt, welcher darin besteht, den zu zerreissenden Stab an den Enden dicker zu gestalten und in der Mitte, wo der Riss auftreten soll, den Querschnitt zu vermindern. Ich schwächte in ähnlicher Weise die elektrische Festigkeit des Gases an der Stelle, wo die Entladung erfolgen sollte, durch Verdünnung desselben, d. h. stellte in einiger Entfernung von einer kugelförmigen Elektrode, wie Fig. 34 zeigt, eine auf isolirendem Stativ befestigte evakuirte Glaskugel auf und steigerte die Spannung der Elektrode so lange, bis Entladung in dieser Vakuumkugel eintrat.

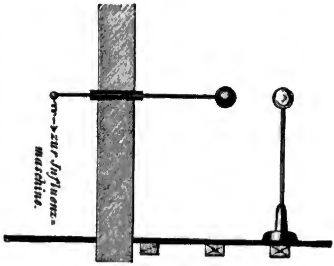


Fig. 34.

Das Potentialgefälle im Abstand L Meter vom Mittelpunkt der kugelförmigen Elektrode, deren Radius R Meter und deren Spannung E Volt betragen möge (die andere Elektrode zur Erde abgeleitet gedacht) beträgt:

$$\frac{E \cdot R}{L^2} \text{ Volt pro Meter,}$$ [1]

kann also, wenn die Spannung auf dem Konduktor bekannt ist, sehr leicht berechnet werden.

---

1) Nach O. L., Elektrizität und Licht S. 286 § 60, ist das Potentialgefälle:

$$\frac{dV}{ds} = H = 4\pi h \text{ Kilogramm pro } \frac{g}{9000} \text{ Mikrocoulomb}$$

und die Ladung des Konduktors nach §§ 4, 5 und 60 l. c.

$$Q = C \cdot E = \frac{R}{9 \cdot 10^9} \cdot E \text{ Coulomb,}$$

somit nach § 56 l. c.

$$h = \frac{1}{4\pi R^2} \cdot \frac{R}{9 \cdot 10^9} \cdot E \text{ Coulomb pro Quadratmeter}$$

und das Potentialgefälle auf der Oberfläche des Konduktors

$$\frac{dV}{ds} = \frac{E}{9 \cdot 10^9 \cdot R}$$

oder

$$\frac{dE}{ds} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot dV}{ds} = \frac{E}{R} \text{ Volt pro Meter}$$

und in der Entfernung L, da die Feldintensität H dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional ist

$$\frac{dE}{ds} = \frac{E}{R} \cdot \frac{R^2}{L^2} = \frac{E \cdot R}{L^2} \text{ Volt pro Meter.}$$

Bei den Versuchen, welche ich in dieser Weise im Jahre 1883 zur Ermittelung des Entladungspotentialgefälles in verdünnten Gasen ausgeführt habe (Fig. 34), betrug die Span-

Die Aenderung des elektrischen Feldes im Innern und ausserhalb der evakuirten Körper während der Entladung ist dargestellt in Fig. 35.[1]) Es ist dabei angenommen, dass die Entladung an der dem Konduktor zugewandten Seite der Hohlkugel begonnen und sich auf etwa $^2/_3$ des Durchmessers fortgesetzt habe. In diesem Raum ist der ursprünglich vorhandene Polarisationszustand, d. h. das Kraftliniensystem, verschwunden und ausserhalb der Kugel haben sich die Kraftlinien gegen die Lücke im elektrischen Felde hingezogen.

Der praktischen Ausführung des Versuchs in der angegebenen Weise stellt sich die Schwierigkeit entgegen, dass der Eintritt der Entladung kaum

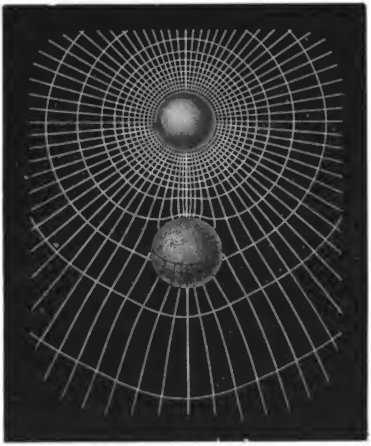


Fig. 35.

wahrzunehmen ist, da durch die beginnende Entladung sofort der Verlauf der Kraftlinien derart geändert wird, dass zur weiteren Entladung kein ausreichendes Gefälle im Vakuumrohr mehr eintreten kann. Uebersieht man diese erste schwache Entladung, so tritt bei steigender Spannung auf dem Konduktor

---

nung auf dem Konduktor etwa 100 000 Volt, der Radius des Konduktors 0,1 m, also das Potentialgefälle an der Oberfläche

$$\frac{10^5}{0,1} = 100\,000 \text{ Volt pro Meter}$$

und in der Entfernung 1,5 m, ungefähr derjenigen, wo die evakuirte Kugel bei Annäherung an den Konduktor zu leuchten anfing, da H nach § 57 l. c. dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional ist, 4450 Volt pro Meter.

1) Siehe O. L., Molekularphysik, Bd. II, S. 230, 1889.

bald eine zweite ein, welche ebensowenig wahrnehmbar ist, wie die erste, sodann eine dritte u. s. w., bis schliesslich die Spannung auf der Elektrode ihren grössten Werth erreicht hat. Die Folge dieser (meist nicht sichtbaren) Partialentladungen ist eine Ladung der Innenwände der Vakuumröhre analog der Ladung eines influenzirten Leiters, d. h. derart, dass das dem Konduktor zugewandte Ende der Röhre (Kugel) entgegengesetzt, das abgewandte gleichartig elektrisch wird.

Wird der Konduktor plötzlich entladen, so vereinigen sich die geschiedenen Elektrizitäten zunächst nicht wie die Influenzelektrizitäten in einem Leiter, weil weder das Gas noch die Glaswand ein Leiter ist, sondern erzeugen für sich ein elektrisches Feld, dessen Stärke in dem Maasse zunimmt, wie die des ursprünglichen kleiner wird, so dass schliesslich Entladung in der Vakuumröhre erfolgen muss. Dabei setzt sich, da keinerlei Widerstände in die Bahn eingeschaltet sind, in der Regel sofort die ganze Energie unter hellem Aufleuchten des Vakuumrohres in Wärme und Licht um.

Setzt man also den kugelförmigen Konduktor (Fig. 34) mit einer der Elektroden einer Influenzmaschine in Verbindung und lässt zwischen letzteren Funken überspringen, so leuchten die Kugeln jeweils, so oft ein Funken überspringt, im Innern; um so stärker, je näher sie dem Konduktor stehen. Das Licht, welches die Funken der Influenzmaschine erzeugen, muss natürlich abgeblendet werden; am besten stellt man die Influenzmaschine im Vorbereitungszimmer auf und führt die Elektrizität durch einen Metallstab (weite Messingröhre), welcher isolirt durch die Mauer in das Versuchszimmer geführt ist, zum Konduktor. Das Zimmer muss vollkommen finster sein, um so mehr, je grösser die Kugeln.

Kapillarröhren leuchten weit intensiver, als solche von grösserem Durchmesser und das Licht ist allenthalben gleich intensiv, wenn auch das Rohr sehr lang ist und weit aus der Wirkungssphäre herausragt.

Annähern leitender, mit der Erde in Verbindung stehender Körper, lässt das Leuchten schon ausserhalb der Wirkungssphäre eintreten.

Nähert man eine Vakuumröhre den Konduktoren der Influenzmaschine, während zwischen denselben Funken überspringen, so tritt das Leuchten, wie zu erwarten, mit grösserer Intensität auf, wenn das Rohr der Achse parallel, als wenn es dazu senkrecht steht. In der senkrechten Lage ist es um so intensiver, je näher es dem einen Konduktor, in der Mittelstellung ist die Helligkeit nahezu verschwindend.

Von den S. 23 beschriebenen älteren Versuchen unterscheiden sich diese von mir im Jahre 1883 angestellten Versuche einestheils dadurch, dass die evakuirte Glaskugel ganz frei im Raume stand, weder mit dem Konduktor noch mit einem abgeleiteten Körper in Berührung war, anderntheils dadurch, dass sie speziell in der Absicht unternommen wurden, die elektrische Feldintensität zu bestimmen. Nach der alten Theorie der „Ausflüsse“ konnte nicht erwartet werden beim Mangel jeglicher Zuleitung an einer völlig freistehenden

Röhre, selbst in grösseren Entfernungen vom Konduktor, Aufleuchten zu erhalten. Dass es dennoch eintrat, schien mir eine beachtenswerthe Bestätigung von Faradays Theorie.

B. Aenderung der Lage elektrodenloser Vakuumröhren.

Einfacher gestalten sich anscheinend die Verhältnisse, wenn nicht das Feld, sondern die Lage des Vakuumrohres geändert wird. Ich habe deshalb auch einige Versuche nach dieser Methode ausgeführt.

Um möglichst übersichtliche Verhältnisse zu haben, wurde das elektrische Feld durch zwei an Seidenschnüren hängende plattenförmige Konduktoren (Drahtgitter) von 2 m Durchmesser erzeugt, die unter Zwischenschaltung von Flüssigkeitsrheostaten mit den Konduktoren einer in einem entfernten Raume stehenden, durch einen Elektromotor in gleichförmiger Drehung gehaltenen Influenzmaschine in Verbindung gesetzt waren.

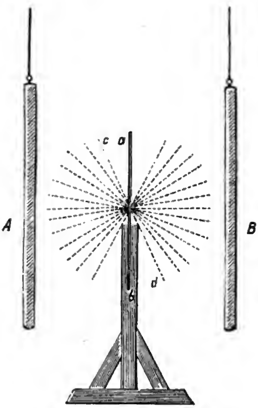


Fig. 36.

Mitten zwischen den Platten konnte ein ca. 80 cm langes evakuirtes Uranglasrohr (Fig. 2) durch eine lange Achse aus trockenem Holz auf zwei hohen Holzlagern in einer Ebene senkrecht zu den Platten in rasche Umdrehung gesetzt werden.

War das Rohr zunächst senkrecht (*ab*) und wurde nun in geneigte Lage (*cd*) gedreht, so leuchtete es, wie erwartet, in bestimmter Richtung plötzlich auf, dann bei Fortsetzung der Drehung abermals und so noch mehrmals, bis die zur ersten Leuchtstellung symmetrische Lage erreicht war (Fig. 36).

Durch Abmessung des dunkeln Winkels hätte sich leicht ermitteln lassen, welcher Bruchtheil des Potentialgefälles zwischen den Platten gerade noch ausreichend war die Entladung hervorzurufen. Das Potentialgefälle ist nämlich bei der Neigung α gegen die Vertikale:

$$= \frac{E \cdot l}{d} \sin \alpha \text{ Volt pro Meter,}$$

falls d den Abstand der beiden Elektroden, l die Länge der Röhre und E die Spannungsdifferenz der Elektroden bedeuten, wie sich ohne Weiteres aus dem Satze, dass zwischen plattenförmigen Konduktoren das Potentialgefälle konstant ist,[1]) ableiten lässt.

Bei Ausführung der Versuche[2]) ergaben sich wiederum erhebliche Schwierigkeiten, insofern die Bewegung eines einzelnen langen Rohres eine

1) Vgl. O. L., Elektrizität und Licht, Taf. I Fig. 12.

2) O. L., Wied. Ann. **47**, 431, 1892.

erhebliche Störung des elektrischen Feldes hervorbrachte. Es wurden deshalb zahlreiche (40) Vakuumröhren von nur 10 cm Länge radial in gleichen Abständen auf einem isolirenden Ring von 40 cm Durchmesser, von gefirnisster Pappe, befestigt und dieser zwischen den auf 0,6 m genäherten elektrischen Drahtgittern in rasche Umdrehung gebracht. Die sich darbietende Lichterscheinung hatte beim Drehen im einen oder andern Sinne die in den Figg. 37 und 38 dargestellte Form. Man erkennt, dass die Röhren beim Annähern an die Platten, sobald sie 40° gegen die Horizontale geneigt sind, aufleuchten in Folge Scheidung der Elektrizitäten, dass dieses Leuchten sogar noch 10° über die Horizontalstellung hinaus, wo eigentlich das Maximum des Potentialgefälles erreicht wäre, andauert, dass dann am äussersten Ende der Rückschlag beginnt, indess



Fig. 37.



Fig. 38.

mit wesentlich schwächerer Lichterregung und nach Erreichung eines Maximums bei etwa 90° Drehung, wobei aber das Licht nur die halbe Röhre erfüllt, schliesslich bei etwa 120° wieder aufhört. Der Rückschlag dauert also wesentlich länger als die Scheidung, welche sich nur auf einen Winkel von 50° erstreckt und es erklärt sich daher auch die geringere Lichtintensität.

Aus der Form der Lichtfiguren ist ersichtlich, dass auch bei dieser Anordnung die Störungen durch die Glashülle, in welche das verdünnte Gas eingeschlossen ist, noch sehr beträchtliche sind, höchstwahrscheinlich besonders in Folge direkten Uebergangs durch Büschelentladungen an den den Drahtgittern zugewandten Enden der Röhren und wegen mangelhafter Isolation des Holzgestells.

Um die Büschelentladungen zu hindern, wurde eine Röhre mit einer weiteren Glashülle umgeben und der Zwischenraum mit Oel ausgefüllt. Die Wirkungen blieben jetzt ganz aus, so dass es fast schien, als ob überhaupt nur die Büschelentladungen Ursache der Erscheinung seien. Wurde aber ein Konduktor in eine grössere Oelmasse versenkt und demselben die Vakuumröhre

im Oel genähert oder entfernt, so traten die Lichterscheinungen wieder ein, wurden aber gestört durch gleichmässig pulsirendes Leuchten in Folge konvektiver Strömung der Elektrizität durch das Oel und Leitung durch die Glaswand.

Die Büschelentladungen sind also wohl nicht die Ursache, sondern die Folge der Scheidung der Elektrizitäten im Innern der Vakuumröhre und es scheint nicht unmöglich, durch Verwendung sehr gut isolirender und gut isolirter dünnwandiger Röhren, sowie grosser Drehungsgeschwindigkeit einigermaassen zutreffende Werthe des Entladungsgefälles zu erhalten.

Bei den von mir angewandten Drehungsgeschwindigkeiten — die Achse, auf welcher der Ring befestigt war, wurde direkt mittelst einer Kurbel von Hand gedreht — zeigte sich keine merkliche Abhängigkeit der in der Figur angegebenen Winkel (10° und 40°) zwischen Horizontalrichtung und Lichtgrenzen von der Umdrehungszahl.

Zu brauchbaren Resultaten führte also bis jetzt weder die Methode mit variablem noch die mit konstantem elektrischen Feld. Ursache sind verschiedenartige Störungen, von welchen die wichtigsten folgende sein dürften:

a) Die Schirmwirkung der Glashülle.

Benutzt man eine Vakuumröhre ohne weitere Vorbereitung und bringt die dem Konduktor abgewandte Seite mit einem Elektroskop in Verbindung, so zeigt dieses bei stetig zunehmender Spannung auf dem Konduktor stetig wachsende Ausschläge und zwar grössere als bei Abwesenheit des Rohres. Dieses bleibt stets dunkel. Obschon nun gewisse Erscheinungen darauf schliessen lassen, dass auch eine völlig dunkle, konvektive Entladung oder Strömung in Gasen möglich sei, so ist doch der wahre Grund der hier vorliegenden Influenz allein die Leitungsfähigkeit der auf der Oberfläche des Glases kondensirten Wasserhaut, welche, wenigstens bei langsamer Potentialänderung, vollkommene Schirmwirkung auf das Innere ausübt.

Wurde bei den in Fig. 34 dargestellten Versuchen eine evakuirte Kugel in ein isolirendes, mit Petroleum gefülltes Gefäss gebracht, so änderte sich der Radius der Wirkungssphäre kaum merklich. Er wurde sichtlich verkleinert, wenn die Kugel auf ihrer Aussenseite benetzt oder mit Glycerin bestrichen wurde, das Leuchten hörte fast ganz auf, wenn man sie zum grössten Theil mit Stanniol beklebte oder vollständig in ein Gefäss mit Wasser eintauchte. In letzterem Falle leuchtete nur die Stelle, an welcher die Kugel an dem isolierenden Stiel (Siegellackstange) befestigt war.[2]

J. Moser[3]) fand, dass ein Vakuumrohr auf ein zweites in dasselbe eingeschlossene Vakuumrohr eine Schirmwirkung ausübt, wenn der Druck etwa

---

1) Vgl. auch Rimington und Smith, Phil. Mag. (5) **35**. 68, 1893.

2) O. L., Wied. Ann. **22**, 334, 1884. Vgl. auch J. J. Borgmann, Elektrician **26**. 787, 1891 und J. J. Thomson, Phil. Mag. (5) **32**, 321, 445, 1891.

3) J. Moser, C. R. **110**, 397, 1890.

etwa 1 mm beträgt. Sowohl bei kleineren wie bei grösseren Drucken tritt die Schirmwirkung nicht auf, d. h. es leuchtet die innere Röhre, während im ersten Fall die äussere leuchtet und die innere dunkel bleibt.

b) Die Influenz in der Glashülle.

Beseitigt man die Wasserhaut durch sorgfältiges Abwaschen und Trocknen und verhindert ihre Neubildung durch Lackiren der Röhre mit wasserfreiem Lack in der Wärme, so zeigt sich die vorige Wirkung auf das Elektroskop nicht mehr. Lässt man aber das Rohr einige Zeit in angemessener Entfernung vom Konduktor stehen, währenddem die Spannung konstant erhalten wird, so leuchtet es, anscheinend ohne Veranlassung, plötzlich auf und giebt an dem Elektroskop einen entsprechenden Ausschlag. Das verspätete Eintreten der Entladung erklärt sich theilweise[1]) durch Influenz im Innern der nicht absolut isolirenden Glaswand, wodurch auf der Aussenseite gegenüber dem Konduktor entgegengesetzte Influenzelektrizität angehäuft wird, welche schliesslich unter Bildung eines kleinen elektrischen Büschels entweicht, somit die gebundene Elektrizität im Innern frei giebt, dadurch momentane Erhöhung der Spannung erzeugt, und so die Entladung auslöst.

Besonders auffällig zeigte sich diese Leitung durch die Glaswand bei einer 3.1 m langen, 43 mm weiten, in der Mitte verengten Röhre mit äusseren Belegungen, als dieselbe direkt mit den Polen einer Batterie von 1060 kleinen Akkumulatoren verbunden wurde. Sie leuchtete in regelmässigen, etwa eine Sekunde dauernden Intervallen hell auf, wobei sich der Uebergang der äusseren Influenzelektrizität auf die nur lose aufliegenden Stanniolbelegungen jeweils durch ein lautes knackendes Geräusch bemerklich machte.

Aus gleichem Grunde beobachtete man beim dauernden Kurzschliessen der Belege des geladenen Vakuumrohres je nach den Umständen mehr oder minder lang anhaltendes pulsirendes Nachleuchten, indem ganz wie bei einer entladenen Leydener Flasche der sogenannte Rückstand nach und nach zum Vorschein kam.[2]) Es genügt sogar schon eine isolirte, evakuirte Glaskugel an einen geladenen Konduktor zu bringen und dann die geladene Stelle mit der Hand zu berühren, um Nachleuchten zu erhalten. Selbst ohne alle Berührung tritt letzteres bis zu gewissem Grade ein, vermuthlich in Folge Zerstreuung der Elektrizität durch die isolirenden Stützen.

Da alles Glas mehr oder weniger leitet, dürfte sich diese Schwierigkeit hinsichtlich der Bestimmung des Entladungsgefälles nicht beseitigen lassen, man ist also darauf angewiesen bei *sinkender* Spannung zu beobachten, da sich nur dann die Potentialänderung so rasch vollziehen lässt, dass die langsame Influenz im Glase ausser Betracht kommt.

---

1) Ausserdem finden eigentliche, nicht durch die Glashülle bedingte „Entladungsverzüge“ statt, von welchen später die Rede sein wird.

2) O. L., l. c. S. 341.

c) **Büschelentladungen am Konduktor.**

Ist der Konduktor nicht genügend gross und gut gewölbt, so zeigen sich auf demselben elektrischen Wind aussendende Lichtpinsel, welche die Oberfläche der Glaskugel elektrisch machen und dadurch selbstverständlich die ganze Vertheilung der Potentialwerthe im Felde ändern. Einsetzen des ganzen Apparates in Oel beseitigt diese Störungen nicht, da im Oel konvektive Entladungen eintreten, welche ähnlich wirken wie die Büschelentladungen in Luft und weil überdies der nicht unerheblichen Leitungsfähigkeit des Oels halber die ganze Oberfläche desselben ungleichmässig elektrisch wird.

Bedeckt man die Oberfläche des Konduktors mit einer isolirenden Schicht, so kann die Wirkung dadurch gestört werden, dass sich auf deren Aussenseite entgegengesetzte Influenzelektrizität hinzieht, welche die Wirkung der Ladung des Konduktors mehr oder weniger kompensirt.

d) **Elektrisirte Luft.**

Wie ich schon früher bemerkte[1]) und wie auch verschiedene neuere Arbeiten von J. J. Thomson[2]), Voller[3]), E. Wiedemann und Ebert[4]) u. A. gezeigt haben, versagen neu hergestellte Röhren zuweilen völlig und es ist nöthig, um sie überhaupt zum Leuchten zu bringen, zunächst übermässig starke Spannungen darauf einwirken zu lassen. Der Grund dieses sonderbaren Verhaltens ist noch nicht aufgeklärt und ist vielleicht in chemischer Veränderung des Gasinhalts durch die Entladungen oder Bildung elektrischer Doppelschichten an den Glaswänden (elektrisirte Luftschichten) zu suchen. Hat man einmal durch unmittelbares Anlegen an den Konduktor eine Entladung im Innern hervorgerufen, dann wirkt die Kugel oder Röhre auch in grösserer Entfernung. Nur durch langes Liegen wird sie wieder unwirksam.

Tesla[5]) machte eine andere auffällige Beobachtung, die vermuthlich theilweise auf die Bildung elektrischer Doppelschichten zurückzuführen ist: „Es ist eine merkwürdige Thatsache, dass die Entladung durch ein Gas hindurch mit stets wachsender Leichtigkeit erfolgt, sobald die Frequenz der Impulse vermehrt wird. Das Gas verhält sich in dieser Beziehung ganz entgegengesetzt wie ein metallischer Leiter. In letzterem tritt bei Erhöhung der Frequenz die Impedanz in hervorragendem Maasse ins Spiel, während das Gas mehr wie eine Reihe von Kondensatoren wirkt. Die Leichtigkeit, mit welcher die Entladung hindurchgeht, scheint von der Geschwindigkeit der Spannungsänderung abzuhängen.“ . . . . „Könnte die Frequenz hinreichend hoch ge-

1) O. L., Wied. Ann. **22**, 341, 1884.

2) J. J. Thomson, Phil. Mag. (5) **32**, 321, 445, 1891.

3) Voller, Verh. d. Elektrotechnikerkongresses, Frankfurt a. M. 1892.

4) E. Wiedemann u. Ebert, Wied. Ann. **50**, 15, 1893.

5) Tesla, Untersuchungen über Mehrphasenströme, deutsch von Maser, Halle 1895, S. 283. Tesla unterscheidet übrigens nicht zwischen maximaler und mittlerer Spannung.

nommen werden, so liesse sich ein merkwürdiges System elektrischer Vertheilung, was für Gasgesellschaften interessant sein dürfte, herstellen: nämlich mit Gas gefüllte Metallröhren — bei denen das Metall der Isolator, das Gas der Leiter ist — zur Speisung phosphoreszirender Lampenbirnen oder vielleicht noch unerfundener Apparate."

e) Fehler bei Messung hoher Spannungen.

Um einigermaassen gleichförmiges Gefälle in der Glaskugel zu erhalten, ist es nöthig verhältnissmässig grosse Entfernungen und entsprechend hohe Spannungen in Anwendung zu bringen. Die im Handel zu beziehenden geaichten Elektrometer (z. B. von F. Braun) gestatten nun nur Messungen bis zu 10 000 Volt, aus den Schlagweiten kann man nur bis etwa 30 000 Volt einigermaassen sichere Schätzungen vornehmen, die hier anzuwendenden Spannungen sind aber wesentlich grösser. Durch Anwendung zweier Elektrometer liesse sich die Schwierigkeit anscheinend beseitigen. Man lade den Konduktor unter Zuhülfenahme eines Elektrometers auf 10 000 Volt, wobei zur Stromzuleitung, um die Stromschwankungen der Maschine auszugleichen, zweckmässig Wasserkapillaren verwendet werden, eventuell ausserdem eine Batterie Leydener Flaschen. Nun bringe man ein zweites Elektrometer in solche Entfernung vom Konduktor, dass es gerade 1000 Volt zeigt. Wie nun auch der Konduktor geladen werden mag, es wird das zweite Elektrometer, wenn es nur in gleicher Lage stehen bleibt, stets den zehnten Theil der Spannung des Konduktors zeigen, man wird also damit, wenn es auf 10 000 Volt geaicht ist, noch 100 000 Volt messen können u. s. w.[1]) Leider machen nicht zu vermeidende Ausströmungen wirklich genaue Messungen auch auf diesem Wege unmöglich.

C. Elektrodynamische Induktion in elektrodenlosen Vakuumröhren.

Befindet sich ein Vakuumrohr ohne Elektroden in einem magnetischen Felde und wird dessen Intensität plötzlich geändert, so sollten, sobald die induzirte elektromotorische Kraft gleich dem Entladungspotentialgefälle wird, Lichterscheinungen in Folge von Induktionsströmen in der Röhre auftreten. Ebenso wenn die Röhre rasch in ein Magnetfeld hineingebracht oder daraus entfernt wird. Schon Hittorf glaubte solches Leuchten durch elektrodynamische Induktion beobachtet zu haben, insofern, wenn eine evakuirte Kugel in eine Drahtrolle aus wenig Windungen hineingehalten wird, durch welche die oszillatorische Entladung einer Leydener Flasche hindurchgeleitet wird (Fig. 39), sich in der Kugel ein leuchtender Ring bildet, als ob durch Induktion eine in sich zurücklaufende Entladung in dem verdünnten Gase erzeugt würde.

1) Diese Methode, hohe Spannungen zu messen, ist von Gaugain angegeben und von Wesendonck, Wied. Ann. **31**, 319, 1887 und Precht, Wied. Ann. **49**, 152, 1893 benutzt worden.

Aehnliche Versuche führte später J. J. Thomson[1]) aus. Zu gleicher Zeit war ich auch selbst mit derartigen Experimenten beschäftigt, welche die Hittorf'sche Ansicht zu bestätigen schienen.

Die äusseren Belegungen zweier Leydener Flaschen *A* und *B* (Fig. 40) wurden mit halbkreisförmigen Drähten verbunden, deren Enden *a* und *b* ein-



Fig. 39.

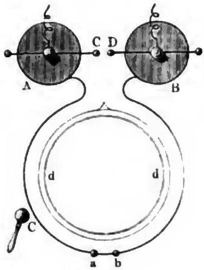


Fig. 40.

ander so genähert wurden, dass eben kein Funken mehr überspringen konnte. Wurde nun eine evakuirte Uranglaskugel (*c*) an einem isolirenden Griff an verschiedene Stellen der Drähte gebracht, während zwischen den Konduktoren (*C*, *D*) beständig Funken überschlugen, so leuchtete die Kugel auf, um so heller, je näher einem Ende, und am hellsten zwischen den beiden Drahtenden *a*, *b*.

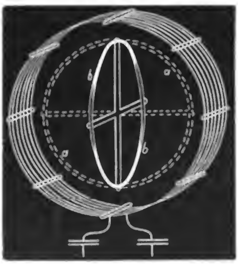


Fig. 41.

Wurde eine ringförmig in sich geschlossene Röhre (*dd*) zwischen die beiden entsprechend halbkreisförmig gebogenen Drähte gelegt, so leuchtete sie nur schwach. Wurden aber die Drahtenden *a*, *b* metallisch verbunden, so erstrahlte die kreisförmige Röhre in sehr hellem weissen Lichte, die Uranglaskugel aber blieb dunkel.

Diese Versuche schienen, wie gesagt, die Möglichkeit der Erzeugung von Magnetinduktionsströmen in Vakuumröhren zu bestätigen,[2]) eine genauere Prüfung[3]) ergab indessen das Gegentheil.

---

1) Thomson, Phil. Mag. (5) **32**, 321, 445, 1891. Vgl. ferner Elihu Thomson, Electrical Engineer, 24. Juni 1891 und Rimington und Smith, Phil. Mag. (5) **35**, 68, 1893.

2) O. L., Wied. Ann. **44**, 652, 1891.

3) O. L., Wied. Ann. **47**, 433, 1892.

Die Enden einer grossen Spirale aus 7 mm starkem Kupferdraht (Fig. 41), welche in 8 Windungen von 1,7 m Durchmesser um ein Holzgerüst gelegt war, wurden mit den äusseren Belegungen zweier grosser Leydener Flaschen verbunden, deren innere Belege mit den Konduktoren der früher beschriebenen grossen Influenzmaschine verbunden waren. Beim Ueberschlagen von Funken zwischen den Konduktoren entstanden in der Spirale starke elektrische Schwingungen, welche in einem hineingebrachten, zu einem Ring von ca. 1,5 m Durchmesser zusammengebogenen Eisendraht so kräftige Induktion bewirkten, dass beim Nähern der Enden lebhaftes Funkensprühen und Verschweissen derselben eintrat, so dass einige Gewalt dazu gehörte, sie wieder auseinanderzureissen. Eine induzirte Spirale von drei Windungen gab bereits centimeterlange Funken.

Wurde nun statt dieses induzirten Drahtes ein ringförmig in sich zurücklaufendes Vakuumrohr von 1,5 m Ring-Durchmesser in die Spirale gebracht, so dass die Zahl der eingeschlossenen magnetischen Kraftlinien ein Maximum war, so blieb dieselbe vollständig dunkel. Sie leuchtete dagegen hell auf an den beiden der Spirale nächsten Stellen, wenn sie aus dieser parallelen Stellung herausgedreht wurde und erlangte den grössten Glanz bei einer Drehung um 90°, also in einer Lage, in welcher die elektrodynamische Induktion verschwindend klein sein musste. Es ist demnach anzunehmen, dass die Lichterscheinung lediglich bedingt wird durch die elektrostatische Wirkung der auf der ersten und letzten Windung der induzirenden Spirale angehäuften Elektrizitäten, deren Menge und Vorzeichen sich entsprechend den Oszillationen mit grosser Schnelligkeit ändert.

Durch diese Schnelligkeit der Wechsel in Verbindung mit der Wirkung elektrisirter Luftschichten, welche sich nicht mit gleicher Schnelligkeit ändern können, dürften wohl auch die Erscheinungen der sog. „Seitenentladung“[1]) bedingt sein, zu welchen, meiner Ansicht nach, vorliegende Erscheinung als ein spezieller Fall, analog der Entladung in freistehenden elektrodenlosen Vakuumröhren gerechnet werden kann.

Zu ähnlicher Auffassung gelangte durch eingehende Untersuchungen auch Tesla[2]). Er schreibt: „Prof. J. J. Thomson's Ansicht über die in Rede stehenden Erscheinungen scheint zu sein, dass sie vollständig von elektromagnetischer Wirkung herrühren. Ich war ehedem derselben Meinung, aber nach sorgfältiger Untersuchung des Gegenstandes bin ich zu der Ueberzeugung gekommen, dass sie mehr elektrostatischer Natur sind.“ Er belegt sodann diese Ansicht durch, eine Reihe von Versuchen bezüglich deren auf das mehrfach citirte Buch verwiesen werden muss.

In einer Entgegnung im Londoner „Electrician“ vom 24. Juli 1891 bemerkt J. J. Thomson, dass das eingeschobene feuchte Löschpapier als genügend guter Leiter angesehen werden müsse, um elektrostatische Wirkungen abzu-

---

1) Seitenentladungen beobachtete schon van Marum (siehe weiter unten).

2) Tesla, Untersuchungen über Mehrphasenströme, Halle 1895, S. 406.

halten. Nach den oben S. 44 besprochenen Versuchen dürfte dies aber keinswegs der Fall sein.[1])

Damit soll aber natürlich nicht gesagt sein, dass die Erzeugung des Leuchtens durch Induktion überhaupt unmöglich sei.

Nehmen wir an, der Durchmesser der evakuirten Glaskugel betrage 0,1 m, somit der Umfang 0,314 m, so würde, wenn ein Potentialgefälle von 3000 Volt pro Meter ausreicht, leuchtende Entladung hervorzurufen, die induzirte elektromotorische Kraft $0{,}314 \cdot 3000 = 942$ Volt betragen.

Ist die Anzahl der Primärwindungen = 10 und die Polwechselzahl pro Sekunde $= 10^5$, so ist[2])

$$E = 2 \cdot 10 \cdot 10^5 \cdot N = 942,$$

somit

$$N = 471 \cdot 10^{-6};$$

ferner ist[3])

$$N = \frac{4\pi \cdot i_{max} \cdot 10}{10^7 \cdot 0{,}1} \cdot \pi \cdot 0{,}1^2 = 471 \cdot 10^{-6},$$

somit

$$i_{max} = \frac{0{,}471}{0{,}4 \cdot \pi^2} = 120 \text{ Ampère},$$

also[4])

$$i = 0{,}627 \cdot 120 = 76{,}3 \text{ Ampère},$$

und die während einer Halbschwingung von einer Belegung der Leydener Flasche zur anderen wandernde Elektrizitätsmenge $= 76{,}3 \cdot 10^{-5}$ Coulomb. Ist die Spannungsdifferenz der Belegungen im Maximum = 10000 Volt, so ist die erforderliche Kapazität der Flasche

$$C = 76{,}3 \cdot 10^{-9} \text{ Farad} = 7{,}63 \cdot 10^{-4} \text{ Mikrofarad}.$$

Es würde somit anscheinend eine Flasche von den üblichen Dimensionen ausreichend sein.

Man muss indess noch näher prüfen, ob die Entladung auch wirklich die angenommene Polwechselzahl ergiebt. Dieselbe beträgt[5])

$$z = \frac{2}{T} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{1}{C \cdot L}},$$

wobei

$$C = 76{,}3 \cdot 10^{-9} \text{ Farad}$$

und

$$L = \frac{10^2 \cdot 4\pi}{10^7 \cdot 0{,}1} \cdot \pi \cdot 0{,}5^2 = 9{,}85 \cdot 10^{-4} \text{ Henry}$$

also

$$z = \frac{1}{3{,}14} \cdot \sqrt{\frac{10^4 \cdot 10^9}{9{,}85 \cdot 76{,}3}} = 3{,}68 \cdot 10^5.$$

Die Schwingungszahl ist also, wenigstens der Grössenordnung nach, wirklich mit der angenommenen in Uebereinstimmung.

---

1) Vgl. auch Moore, Elektrotechn. Zeitschr. **17**, 637, 1896.
2) Nach O. L., Elektrizität und Licht, § 105.
3) Nach l. c. § 74.
4) Nach l. c. § 97.
5) Nach den in l. c. §§ 97 und 115 abgeleiteten Formeln.

5. Entladung in festen und flüssigen Körpern.

A. Entladungen in festen Körpern.

Die mannigfachen Störungen, welche die Bestimmung des Entladungsgradienten in Gasen erschweren, scheinen bei festen Körpern nicht vorhanden zu sein, da solche den Elektroden unmittelbar anliegen können und Bildung elektrischer Doppelschichten durch vorangehende Entladungen unmöglich ist, insofern, sobald überhaupt Entladung erfolgt, dieselbe ähnlich wie ein Riss sofort durch den ganzen Körper bis zur anderen Elektrode fortschreiten muss.

Wären z. B. die beiden Elektroden plattenförmig, so wäre die Potentialvertheilung vor der Entladung gegeben durch das System der in Fig. 42 gezeichneten Niveau- und Kraftlinien.

Tritt nun Entladung ein, so verschwindet in der Funkenbahn (in Fig. 43 durch den dicken schwarzen Strich angedeutet) der Polarisationszustand, das



Fig. 42.

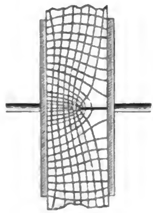


Fig. 43.

Potential wird dort überall konstant und der von Entladung durchsetzte Raum verhält sich also hinsichtlich des Verlaufs der Niveau- und Kraftlinien ungefähr wie eine Verlängerung der Elektrode. Ganz genau trifft dies allerdings nicht zu, da es sich nicht um einen Gleichgewichtszustand handelt, somit die wahren Niveau- und Kraftlinien erheblich anders verlaufen.

Immerhin lässt sich mit Bestimmtheit sagen, dass am Ende der Funkenbahn ein sehr starkes, mit dem Fortschreiten der Entladung sich erhöhendes Potentialgefälle auftritt, in Folge dessen nothwendig der entstandene Riss, ähnlich wie ein Riss in einem elastisch gespannten Medium[1]) sich bis zur Grenze des Dielektrikums fortsetzen muss.

Trotz dieser scheinbar sehr einfachen Sachlage ist die Bestimmung des Entladungsgradienten bei festen Körpern mit noch grösseren Schwierigkeiten verbunden als bei Gasen.[2])

1) Vgl. O. L., Molekularphysik I, S. 80, Fig. 60—62.
2) Vgl. Röntgen, Gött. Nachr. 1878, 390.

Die dielektrische Festigkeit derselben ist eine so beträchtliche, dass plattenförmige Elektroden, wie oben vorausgesetzt, sich zum Versuche nicht eignen, sondern mindestens eine derselben eine Spitze sein muss.

Um z. B. Glas zu durchbohren, nimmt man ein gewöhnliches Medizinglas von 100 bis 150 ccm, versieht es mit einem Pfropf, durch den man einen zugespitzten, etwa 2 bis 3 mm dicken Draht steckt; letzterer wird sodann gebogen, wie Fig. 44 zeigt, das Gläschen mit Oel gefüllt und der Pfropf mit dem Draht so eingesetzt, dass die Spitze des Drahtes mit einiger Federkraft gegen das Glas drückt; am äusseren Ringe hängt man das Glas an den Konduktor der Elektrisirmaschine. Nähert man nun dem Fläschchen der Spitze gegenüber rasch eine metallene Kugel (den Knopf eines Ausladers), so springt ein Funken über und das Glas wird durchbohrt, wenn die Maschine auch weniger als 3 cm Schlagweite hat. Die weiteren Funken gehen dann sogleich in der gewöhnlichen Schlagweite durch die Oeffnung. Man kann dasselbe Glas viele Male brauchen, denn die Oeffnungen sind ungemein fein, so dass man sie nur mit der Lupe gut sehen kann und nach tagelangem Stehen sich nur ein Oeltröpfchen darauf zeigt. Man muss übrigens die Federkraft des Drahtes nicht stärker in Anspruch nehmen, als eben nöthig ist, um dessen Spitze sicher an das Glas anzulegen, andernfalls ist man der Gefahr ausgesetzt, dass beim Durchschlagen des Funkens der Draht das laubdünne Glas vollends durchbricht und das Oel ausläuft. (Aus Frick, Phys. Technik.)



Fig. 44.

Grössere Wirkung erhält man nach W. Holtz auf folgende Weise, wobei das Glas von etwa $^1/_{12}$ der Funkenlänge durchbohrt wird. Eine Glasröhre, deren Wände mindestens so dick sind als das zu durchbohrende Glas, wird einerseits gut eben geschliffen und dann ein Stahldraht durch dieselbe gesteckt, der ihre Höhlung ausfüllt, aber noch darin verschiebbar ist; der Draht erhält einerseits eine schlanke scharfe Spitze, welche gehärtet wird. Das ebene Ende der Röhre und das zu durchbohrende ebene Glasstück werden in der Wärme mit einem Kitte aus 1 Schellack und 2 bis 3 Terpentin überzogen und dann noch warm die Glasröhre mit dem Rande aufgesetzt und langsam unter stärkerem Drucke aufgerichtet; jetzt wird auch die Drahtspitze gegen die Glasplatte vorgedrückt. Hat nun der Konduktor eine Oeffnung, so kann man das andere Drahtende hineinstecken, die Röhre in horizontaler Lage isolirt unterstützen und an die Glasplatte eine abgeleitete Kugel anlehnen (Fig. 45), worauf die Maschine gedreht wird. Hat der Konduktor kein Loch, so steckt man auf das andere Ende des Drahtes eine Metallkugel und setzt diese auf irgend eine Art, etwa wie in Fig. 46, mit dem Konduktor auf kurzem Wege in Verbindung. Die Unterstützung des Glasstückes bei *a* ist dann von Metall und gut abgeleitet.

Fages (1879) legt die Glasplatte unter Vermeidung von Luftblasen auf eine mit etwas Olivenöl bestrichene Ebonitscheibe, durch welche in der Mitte senkrecht ein spitzer Draht durchgeführt ist, der bündig mit der Oberfläche

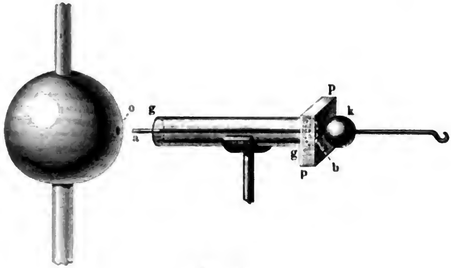


Fig. 45.

der Ebonitscheibe abgeschnitten ist. Der Draht wird dann mit dem einen Konduktor verbunden, und ein mit dem anderen Konduktor verbundener Draht von oben auf die Glasplatte gesetzt und nun ein Funken durchgeschickt.

Jean[1]) durchschlug mittelst eines **Ruhmkorff**'schen Funkeninduktors von 30 cm Funkenlänge mit Oelisolation (der Apparat war in Terpentinöl eingesenkt) 3 cm dicke Glasplatten. Der Funkeninduktor wurde dabei zur Ladung eines eigenartigen Kondensators gebraucht. Quadratische Glastafeln von 3 mm Dicke und 60 cm Seite wurden auf beiden Seiten bis 5 cm vom Rande mit Stanniol belegt und hierauf die Ränder mit einer Mischung von $^1/_4$ Fichtenharz und $^3/_4$ Erdharz überzogen. Diese Tafeln wurden parallel nebeneinander in einen Trog gestellt, die Belege durch Drähte verbunden und nun der ganze Trog mit geschmolzenem Harz ausgefüllt, so dass die Platten gänzlich in diesem eingebettet waren. Die Drahtspitzen wurden mit Harz auf beide Seiten der

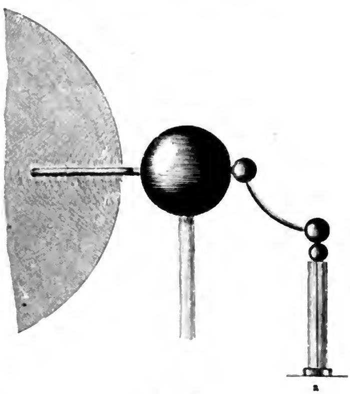
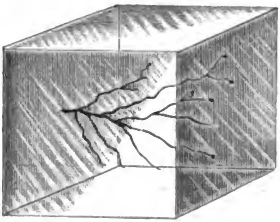


Fig. 46.

1) **Jean**, C. R. **46**, 186, 1858.

Platte angekittet. Die Zuleitungsdrähte wurden in Glasröhren mit Harz eingekittet und an den Enden auf der zu durchschlagenden Platte mit dicken Harzklumpen umgeben. Diese Durchbohrung fand nicht mit einemmal statt, sondern ruckweise, indem sie bei jeder Stromunterbrechung, welche aus freier Hand bewerkstelligt wurde, etwas weiter vorrückte. Der Funke trat dabei am negativen Pol auf und rückte nach und nach eine krummlinige, mit kleinen glänzenden Rissen besäte Bohrung erzeugend, ohne Geräusch gegen die Anode hin vor. In der Umgebung des Loches zeigte sich das Glas doppelbrechend.

In der Sammlung des physikalischen Instituts in Karlsruhe befindet sich ein von Ruhmkorff (1861) selbst, vermuthlich mittelst eines Induktoriums von 42 cm Funkenlänge[1]) durchschlagener Glaswürfel von ca. 4 cm Dicke (Geschenk an Eisenlohr), in welchem die zum Theil äusserst feinen kaum sichtbaren Bohrungen ähnlich wie die Verästelungen des positiven Büschels von einem Punkt ausgehen und theilweise frei im Glase endigen[2]) (Fig. 47).


Fig. 47.

Mittelst Wechselströmen hoher Frequenz lässt sich Glas auch ohne Oel oder Harz durchschlagen, da sich an den Elektroden Büschelentladungen bilden, welche das Glas erwärmen und dadurch weniger widerstandsfähig machen.

Marangoni[3]) machte auch einige Beobachtungen über das Durchschlagen von Krystallplatten. Es bildeten sich neue noch nicht bekannte Spaltungsflächen. Die Entladung vermochte ausserdem die Krystalle nur in bestimmten Richtungen zu durchdringen. Speziell wurden Steinsalz und Kalkspath untersucht.

Mach Monti[4]) ist die Entladungsspannung in sorgfältig von Luft befreiten Paraffin bei Kugeln von 5 mm Durchmesser in 1 mm Abstand etwa 155000 Volt, während sie in Luft nur 5050 Volt beträgt. Andere derartige Versuche machten Steinmetz[5]), Macfarlane u. Pierce[6]) und Pierce[7]). Eine genaue Theorie dieser Erscheinungen müsste übrigens auch auf die Rückstandsbildung in festen Körpern Rücksicht nehmen, die allerdings selbst noch nicht genügend aufgeklärt ist.[8])

1) Vgl. Ruhmkorff, Pogg. Ann. **110**, 527, 1860.
2) Vgl. auch Holtz, Pogg. Ann. **130**, 118, 1867.
3) Marangoni, Rend. Acc. Lincei **4**, 124, 1888.
4) Monti, L'Electricista **2**, 225, 1893.
5) Steinmetz, Elektrot. Zeitschr. **14**, 248, 1893.
6) Macfarlane u. Pierce, Phys. Rev. **1**, 161, 1893.
7) Pierce, Phys. Rev. I, 161 und II, 99, 1894.
8) Vgl. R. Kohlrausch, Pogg. Ann. **91**, 56, 1854. Clausius, Pogg. Ann. **139**, 276, 1870. Wüllner, Pogg. Ann. **153**, 22, 1874; Wied. Ann. **1**, 247, 1877. Giese,

B. Entladungen in Flüssigkeiten.

Auch in flüssigen Körpern, z. B. Wasser, können Funkenentladungen erhalten werden, wenn die Spannung der Elektroden rasch auf genügende Höhe gebracht wird. Man kann hierbei deutlich erkennen, dass das Zerreissen der Flüssigkeit mit einer Zersetzung desselben verbunden ist.

Um dies zu demonstriren, lässt Landolt in einem kleinen Trog mit planparallelen Wänden den Funken eines Induktionsapparates in Wasser zwischen Platindrähten überschlagen, welche bis an die Spitzen in Glas (winkelförmige gebogene Glasröhren) eingeschmolzen sind und projizirt den Apparat auf einen Schirm. Sobald die Funken überspringen, sieht man Knallgasblasen aufsteigen.

Der Druck des entstehenden Knallgases ist, falls das Gefäss dicht verschlossen ist, genügend, dasselbe zu sprengen. Sehr leicht kann man z. B. Glasröhren sprengen. Man führt (nach Frick) durch zwei in eine grüne Glasröhre passende Korkstöpsel Messingdrähte, die beiderseits in Ringe gebogen werden, steckt den einen Stöpsel ein, füllt die Glasröhre vollständig mit Wasser und drückt den zweiten Stöpsel hinein, Fig. 48. Es ist gut, wenn man die Enden der Glasröhre an der Lampe mit einem schwachen Halse versieht; die Korkstöpsel schliessen dann fester, und die Röhre springt nicht beim Eindrücken derselben. Die Drahtringe erhalten im Innern einen Abstand von 6—10 mm. Da die Splitter der Glasröhre, wenn auch nur ausnahmsweise, fortgeschleudert werden, so empfiehlt es sich, hiergegen irgend eine Vorkehrung zu treffen.

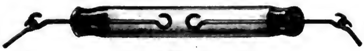


Fig. 48.



Fig. 49.

Selbst offene Gläser können durch den elektrischen Funken gesprengt werden. Man versieht hierzu (nach Frick) ein gewöhnliches kleines Kelchglas mit zwei gebogenen Drähten, Fig. 49, welche durch ihre Federkraft am Glase haften und ausserhalb in Ringe, innerhalb in Kügelchen enden; diese erhalten wieder 6—10 mm Abstand und das Glas wird dann mit Wasser gefüllt. Der Schlag zertrümmert es meistens, doch wird es auch manchmal gerade da, wo der Kelch an den Stiel ansetzt, abgebrochen, wenn der Uebergang plötzlich gemacht ist und nicht allmählich, wie die Figur zeigt.

Wied. Ann. **9**, 161, 1880. Wüllner, Wied. Ann. **32**, 19. 1887. F. Braun, Wied. Ann. **59**, 682, 1896. Wüllner und Braun schreiben dabei der Oberflächenleitung eine grosse Rolle zu. v. Bezold machte auf den Einfluss der Temperatur aufmerksam.

Eingehendere Versuche über Entladungen in Flüssigkeiten hat bereits Faraday ausgeführt. Nach Macfarlane und Pierce[1]) ist die elektrische Stärke von Terpentinöl 94, von Paraffinöl 87, von Olivenöl 82, wenn diejenige von Luft = 23,8 gesetzt wird.[2])

Kann die Flüssigkeit nicht durchbrochen werden, so tritt statt der vollständigen Entladung eine unvollständige zwischen der Spitze und verschiedenen näher gelegenen Punkten der Flüssigkeit ein, ein Phänomen, welches an den elektrischen Büschel in andern Isolatoren (Glas, Luft) erinnert.

Nach W. Holtz[3]) werden die beiden Büschel besonders gross und fast von gleicher Grösse in Petroleum erhalten, in wenigen, verhältnissmässig langsam nacheinander ausbrechenden Zweigen, welche auch ihrerseits wenig verästelt sind. „Wenig reichhaltig in der Verzweigung waren auch die Büschel in den meisten anderen Flüssigkeiten, nämlich in Terpentinöl, Olivenöl, Benzin

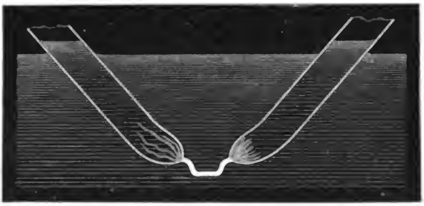


Fig. 50.

und Schwefelkohlenstoff. In allen diesen war aber der negative bedeutend kleiner als der positive und die Zweige des ersteren strebten mehr senkrecht von der Richtung der Elektroden ab. Besonders auffallend war der Unterschied der Grösse in Benzin, wo der negative gewöhnlich nur einem Glimmen ähnlich war. Eine besondere Gestalt hatten beide Büschel in Schwefeläther, sie waren nämlich vielstielig, viel verästelt, aber alles mehr in geraden, als krummen Linien.“

Nach Righi (1877) kann man Funken auch zwischen beliebigen flüssigen Elektroden erhalten, wie Fig. 50 andeutet, indem man als solche mit der Flüssigkeit gefüllte Glasröhren mit enger Oeffnung verwendet. In der Oeffnung erhitzt sich die Flüssigkeit beim Durchgang des Stromes so stark, dass

1) Macfarlane und Pierce, Phys. Rev. 1, 161, 1893.

2) Aehnliche Werthe erhielt Steinmetz, Elektrotechn. Zeitschr. **14**, 248, 1893. Vgl. ferner Macfarlane, Beibl. **3**, 429, 1877; **5**, 147, 1880 und **6**, 42, 1881 und Baille, Ann. Chim. Phys. (5) **29**, 181, 1883.

3) W. Holtz, Wied. Ann. II. 704, 1880.

daselbst Dampfbläschen auftreten, in welchen nun Funkenentladung eintritt, die sich büschelartig nach beiden Seiten fortsetzt oder, wenn die Elektroden nahe genug sind, zwischen diesen eine zusammenhängende Lichtlinie bilden.

6. Die elektrische Konvektion.

Eine genaue Bestimmung des Entladungsgradienten stösst auf noch grössere Schwierigkeiten als bei festen Körpern, weil, falls die Entladung nicht sofort die ganze Flüssigkeit durchsetzt, sondern (wie bei spitzen Elektroden in

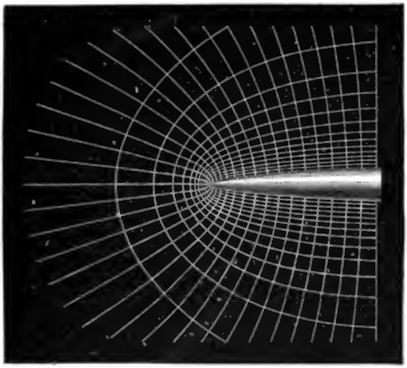


Fig. 51.

der Regel) sich zunächst auf die Umgebung der Spitze beschränkt, die Flüssigkeitstheilchen, an welchen die Entladung endigt, weil gleichartig elektrisch mit der Spitze, von dieser abgestossen werden. Diesen Transport elektrisirter Flüssigkeitsmassen durch die Kraft des elektrischen Feldes nennt man (nach Faraday) „fortführende“ oder „konvektive“ Entladung.

Die Figg. 51 und 52 suchen eine Vorstellung von der durch die Konvektion bedingten Aenderung des elektrischen Feldes zu geben.

Die Fig. 51 zeigt das System der Kraft- und Niveaulinien in der Nähe der Spitze vor der Entladung, die obere Hälfte von Fig. 52 während und die untere Hälfte kurze Zeit nach derselben, wenn die elektrisirte Flüssigkeitsschicht den Kraftlinien folgend bereits etwas von der Spitze sich entfernt hat.

Dass elektrisirte Flüssigkeiten von gleichartig elektrischen Konduktoren abgestossen werden, wie bewegliche feste Körperchen, ist selbstverständlich

und schon seit alter Zeit bekannt. Es sei z. B. erinnert an den als das „elektrisirte Wasser“ bezeichneten Versuch, bei welchem aus einem mit dem Konduktor der Elektrisirmaschine leitend verbundenen Gefäss Wasser langsam austropft, so lange die Maschine nicht funktionirt, aber in anhaltendem Strom ausfliesst, sobald es elektrisirt wird.[1])

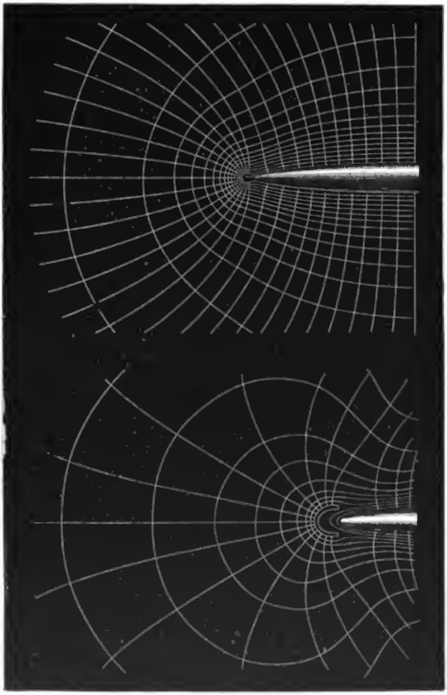


Fig. 52.

Wird ein metallener Heronsball mit dem einen Konduktor einer Influenzmaschine verbunden und sind die Konduktoren zusammengeschoben, so steigt der Wasserstrahl senkrecht auf, werden sie aber auseinander gezogen, so sprühen die Wassertheilchen nach allen Richtungen auseinander, was be-

1) Siehe z. B. Cuthbertson, Abh. 1786, S. 40.

sonders deutlich hervortritt, wenn man den Wasserstrahl vor dunklem Hintergrunde elektrisch beleuchtet und dem Wasser etwas Mastixlösung oder Fluorescein hinzufügt.

Setzt man eine kleine Metallkugel mit der Elektrisirmaschine in Verbindung und hängt einen Siegellacktropfen daran (nachdem sie hinreichend erwärmt wurde), so wird das Siegellack zu feinen Fäden ausgesponnen.

Faraday[1]) elektrisirte Gummiwasser in Terpentinöl: „Als das Stabende mit einem daran hängenden Tropfen von Gummiwasser in der Flüssigkeit elektrisirt wurde, zertheilte sich das Gummiwasser alsbald in feine Fäden und zerstreute sich rasch durch das Terpentinöl.“

„Ein negativ gemachter Tropfen Gummiwasser zeigt einen grösseren Kegel als ein positiver; es wird weniger Flüssigkeit fortgeschleudert und doch kann man bei Annäherung einer Kugel kaum Funken erhalten, so spitz ist der Kegel und so ungehindert die Entladung. Eine demselben gegenübergehaltene Spitze verursachte keine so beträchtliche Zusammenziehung des Kegels, als wenn er positiv war. Alle Erscheinungen sind so verschieden von denen, welche der positive Kegel darbietet, dass ich nicht zweifle, dass solche Tropfen ein sehr instruktives Verfahren zur Untersuchung des Unterschiedes zwischen positiver und negativer Entladung in Luft und andern Dielektricis ergeben werden.“

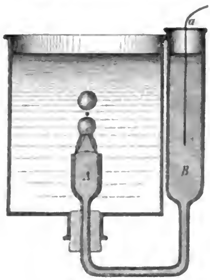


Fig. 53.

Füllt man nach B. und F. Bourne ein Gefäss unten mit Rizinusöl, darüber mit Petroleum und senkt in jedes der Oele eine mit den Polen eines Hochspannungstransformators verbundene Platte ein, so sucht das System seine Kapazität zu vermehren, d. h. die Oberfläche des Rizinusöls wölbt sich zu einer Kuppe.

Aehnliches beobachtet man bei der in Fig. 53 abgebildeten Vorrichtung.[2]) *AB* ist ein U-förmig gekrümmtes, mit Wasser gefülltes Glasrohr, dessen eines Ende *A* von einem weiteren Glasgefäss umgeben ist, welches eine Mischung von Benzol mit Schwefelkohlenstoff von gleichem spezifischem Gewicht wie Wasser enthält. Führt man nun dem Wasser durch den Draht *a* Elektrizität zu, etwa von einer Elektrisirmaschine, so sieht man alsbald die Wasseroberfläche im Schenkel *A* sich nach oben wölben, kegelförmig werden und dann einen Tropfen abschnüren, welchem bald ein zweiter, dritter u. s. w. folgt.

Beobachtet man unter dem Mikroskop einen Tropfen von geschmolzenem Schwefel in heissem Terpentinöl zwischen entgegengesetzt elektrisirten Elektroden, so nimmt derselbe eine ellipsoidische Form an, wie Fig. 54 andeutet,

1) Faraday. S. 449 § 1571 und S. 455 § 1593.
2) O. L., Molekularphysik I, S. 825, 1888.

so lange die Elektrisirung der Elektroden anhält. Werden diese in rascher Folge ge- und entladen, so sieht man in gleichem Takte den Tropfen sich ausdehnen und wieder kugelförmig zusammenziehen.

Umgiebt der geschmolzene Schwefel eine Elektrode wie bei Fig. 55, so spitzt sich die Masse zu und die Spitze sendet fortwährend feine Tröpfchen aus. Bei kräftiger Ladung können sich auch, wie Fig. 56 zeigt, mehrere Spitzen ausbilden.

Aehnlich verlaufen die Strömungen in einer homogenen durch eine Spitze elektrisirten Flüssigkeit. Faraday[1]) schreibt darüber: „In dichten isolirenden Dielektricis zeigen die Strömungserscheinungen eine bedeutende mechanische Kraft. Bringt man z. B. wohl rektifizirtes und filtrirtes Terpentinöl in ein Glasgefäss und taucht an verschiedenen Punkten zwei Drähte darin ein, von denen der eine mit der Elektrisirmaschine und der andere mit dem Ableitungssystem verbunden wird, und setzt man nun die Maschine in Thätigkeit, so wird die Flüssigkeit in ihrer ganzen Masse in heftige Bewegung gerathen, während sie zugleich zwei, drei oder vier Zoll am Maschinendraht aufsteigt und von ihm in Strahlen in die Luft schiesst.“ [2])



Fig. 54.



Fig. 55.

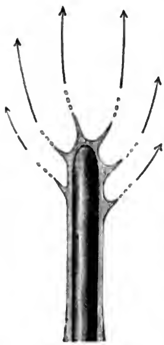


Fig. 56.

Beim Einleiten von Induktionsströmen in Wasser mittelst Wollaston'scher Röhren[3]) beobachtete Quet, dass die an jeder Elektrode gebildeten Gasblasen mit beträchtlicher Kraft fortgeschleudert werden. „Macht man die Drahtenden horizontal, so erhält man vor jeder derselben einen Strom von Bläschen, der sich mehrere Centimeter weit horizontal erstreckt, ehe er merklich in die Höhe steigt. Diese Wurfkraft lässt sich auch wahrnehmen, wenn man eine der Elektroden bis nahe an die freie Oberfläche der Flüssigkeit erhebt; zahlreiche Wassertröpfchen werden dann 3—4 Decimeter hoch in die Luft geschleudert.“

1) Faraday, Experimentaluntersuchungen S. 456, § 1595, 1839.

2) Bleekrode (1879) beobachtete die konvektive Entladung in Flüssigkeiten mit der grossen Batterie von Warren de la Rue und Müller, welche aus 8040 Chlorsilberelementen zusammengesetzt war. — Bereits vor ihm hatten Lapschin und Tichanowitsch mit 900 Bunsenschen Elementen ähnliche Versuche ausgeführt.

3) cf. Gilberts Ann. **23**, 424, 1806. — Pogg. Ann. **92**, 187, 1854.

Töpler[1]) bemerkt: Gehen Funken in einer Flüssigkeit über und zwar so, dass nur Funkenstiele an den Elektroden sichtbar werden, während die Mitte dunkel bleibt (also eigentlich Büschel), so sieht man im Schlierenapparat „Ringe von erhitzter wirbelnder Flüssigkeit, welche, von den Elektroden fortgestossen, in der Flüssigkeit langsam fortschreiten, ähnlich den bekannten Rauchringen in der Luft."

Weiter sagt Faraday[2]): „Bei diesen Erscheinungen zeigt sich ein sehr merkwürdiger Effekt, der mit positiver und negativer Ladung und Entladung in Zusammenhang steht, dass nämlich eine positiv geladene Kugel eine viel höhere und breitere Säule von Terpentinöl emporhebt als eine negativ geladene."

De Walia zeigt dies sehr schön in der Art (Fig. 57), dass er von unten in eine Glasschale Drähte als Elektroden einführt, welche bis zu gleicher Höhe senkrecht aufsteigen, und nun Flüssigkeit einfüllt, so dass dieselben eben davon bedeckt werden. Leitet man nun den elektrischen Strom hindurch, so bildet sich an der positiven Elektrode ein kleiner Springbrunnen, an der negativen eine trichterförmige Vertiefung.

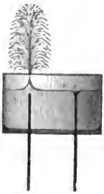


Fig. 57.

Bei den eingehenden Untersuchungen von Gladstone und Tribe (1878) wurden die betreffenden Flüssigkeiten in ein vertikal stehendes, unten geschlossenes Glasrohr von 5 mm Weite eingebracht, in welchem unten zwei vertikale, 1 mm von einander entfernte Platindrähte als Elektroden eingeschmolzen waren. Die meisten Flüssigkeiten liessen nur einen sehr schwachen Strom hindurchgehen und zeigten dabei keine sichtbare Veränderung. Alkohol erwärmte sich, gerieth in Bewegung und leitete dann besser. An der Kathode schien sich etwas Gas zu entwickeln. Wurde dem Alkohol das an und für sich isolirende Aethyljodid beigemischt, so wurde das Leitungsvermögen bedeutend erhöht. Die Flüssigkeit bewegte sich nun sehr rasch oben von der negativen zur positiven Elektrode, unten umgekehrt, wurde braun und gerieth ins Sieden. Vermuthlich trat hier ausser der konvektiven auch elektrolytische Leitung ein. (Zur Erzeugung des Stromes dienten 10—100 Elemente.)

Bartoli (1885) brachte eine Schicht Zinnchlorid (Spiritus fumans Libavii) von 1 qcm Querschnitt und 5 mm Dicke zwischen Platinelektroden und leitete den Strom von 400 Bunsen'schen Elementen hindurch. Dabei zeigte sich ein alternirendes Anwachsen und Sinken der Stromintensität. Aehnlich verhielten sich käufliches Brom, Chlorsilicium u. s. w. Auch 10—20 Mal so schwache Säulen zeigten die Erscheinung.

1) Töpler, Pogg. Ann. **134**, 202, 1868.

2) Faraday, S. 457, § 1600, 1839.

Häufig treten neben Störungen durch elektrolytische Phänomene auch Komplikationen der fortführenden Entladungen durch Verunreinigungen der Flüssigkeiten mit staubförmigen Körpern ein, wie weiter unten besprochen wird.

Fig. 58 zeigt, wie sich die Erscheinungen bei Beobachtung unter dem Mikroskop zeigen, wobei die Strömungen (in der Richtung der Pfeile) entweder durch Schlieren oder weit besser durch die Bewegung feiner Staubkörnchen in der Flüssigkeit wahrzunehmen sind.

Ebenso wie bei Faraday's Versuchen findet man öfters auch bei mikroskopischer Untersuchung, dass, wie Fig. 59 zeigt, die konvektive Strömung

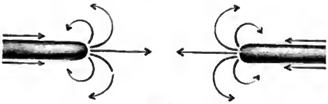


Fig. 58.

sich nur an einem Pol ausbildet, während der andere die abgestossene Flüssigkeit einfach an sich anzieht. Vermuthlich ist die Ursache dieser Abnormität darauf zurückzuführen, dass bei beginnender Strömung in Folge der Reibung

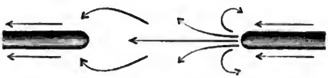


Fig. 59.

zwischen Metall und Flüssigkeit die letztere selbst elektrisch wird, so dass am einen Pol die Abstossung verstärkt, am andern geschwächt wird.[1])

Aeusserst heftige Bewegungen werden mittelst Wechselströmen hoher Frequenz auch bei geringer mittlerer Spannung erzielt, wohl hauptsächlich wegen der hohen Maximalspannung dieser Ströme.

Um eine deutliche Uebersicht über den Verlauf der hydrodynamischen Stromlinien zu erhalten, erzeugte ich konvektive Entladung unter dem Mikroskop in einer eigenthümlichen Flüssigkeit, welche sich besonders dazu eignet, die Strömungslinien zu erkennen. Diese Flüssigkeit war geschmolzenes Cholesterylbenzoat[2]) bei Temperaturen zwischen 146° und 182°. Zwischen gekreuzten Nikols erscheint diese Flüssigkeit schön blau mit netzartigen weissen Streifen, welche da, wo sie den Nikolhauptschnitten parallel laufen, ähnlich wie einachsige Krystallnadeln dunkel erscheinen.[3]) Die weissen Streifen stellen

---

1) O. L., Zeitschr. f. Kryst. I, 469, 1877. Bei chemischer Reinigung von trockenen Kleiderstoffen mit wasserfreiem Benzin treten zuweilen so kräftige Funken auf, dass das Benzin entzündet wird und chemische Reinigungsanstalten sich genöthigt sehen, durch geeignete Zusätze zum Benzin auf Beseitigung dieser Feuersgefahr Bedacht zu nehmen.

2) Siehe hierüber F. Reinitzer, Sitzb. d. Wien. Akad. **47**, (1), 182, 1888.

3) O. L., Zeitschr. f. phys. Chem. **4**, 462, 1889 und Wied. Ann. **56**, 784, 1895.

im Allgemeinen die Strömungslinien dar. Sie entstehen, wenn die Flüssigkeit an irgend einem Hinderniss, z. B. einer Luftblase oder an der Oberfläche einer Elektrode, vorbeiströmt und können sich, einmal gebildet, beliebig ohne abzureissen oder schmaler zu werden, verlängern. Befindet sich, wie bei Fig. 60, die Flüssigkeit zwischen zwei Streifen in Bewegung, so legen sich die durch Verlängerung der Querstreifen entstehenden neuen Streifen an die schon vorhandenen an und es entsteht schliesslich ein breites gestreiftes Band. Eben solche breite gestreifte Bänder entstanden nun, wie die Fig. 61 zeigt, auch

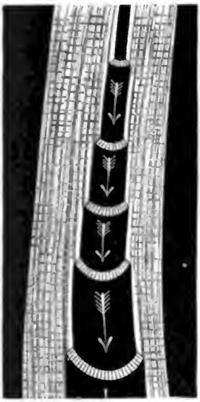


Fig. 60.



Fig. 61.

um die Elektroden, ziemlich genaue, scharf gegen die übrige Masse abgegrenzte Kreisflächen bildend, auf welchen sich den Schwingungsrichtungen entsprechend (wie bei Sphärokrystallen) ein schwarzes Kreuz zeigte. An der Spitze jeder Elektrode zeigte sich eine lebhafte Wirbelbewegung, die von einem einzigen Punkte ihren Ausgang nahm, also möglicherweise durch eine an diesem Punkte eintretende leuchtende Entladung bedingt war. Direkt beobachten konnte ich eine solche indess nicht.

Benutzt man als Stromquelle einen Wechselstromgenerator (beispielsweise einen Funkeninduktor, in dessen Primärspule man regulirbaren Wechselstrom einleitet), so verlaufen die Strömungen sehr regelmässig, indem die Flüssigkeit von den Spitzen der Elektroden abgestossen wird und, allmählich ihre elektrische Ladung verlierend, im Bogen wieder dahin zurückkehrt.[1])

1) Vgl. Zeitschr. f. Krystallogr. 1, Tafel XX, Fig. 31a.

Verwickelter werden die Erscheinungen bei Verwendung von Gleichstrom, da hier nicht, wie bei Wechselstrom, entgegengesetzt elektrisirte Schichten rasch aufeinander folgen, so dass die Neutralisation der elektrischen Ladungen, besonders wenn die Flüssigkeit schlecht leitet, nur langsam erfolgen kann. Tritt der Strom in eine Elektrode ein, so wird durch die elektrische Kraft zunächst von der Spitze[1]) derselben die Flüssigkeit abgeschoben, so dass der Polarisationszustand, der ursprünglich dem in Fig. 62 gezeichneten Verlauf der Kraftlinien entsprach, nunmehr so geändert erscheint, wie Fig. 63 zeigt. Die

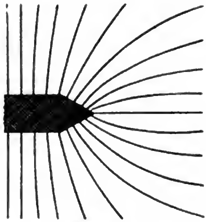


Fig. 62.

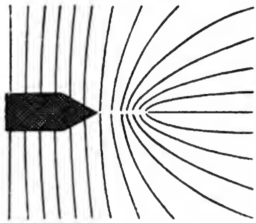


Fig. 63.

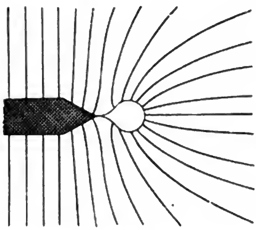


Fig 64.

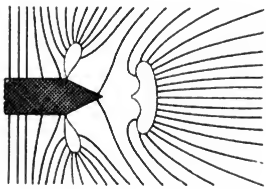


Fig. 65.

elektrisirten Flüssigkeitstheilchen, welche von der Spitze der Elektrode abgestossen worden sind, bilden gewissermaassen eine fadenförmige Verlängerung derselben.

Da nun in Folge der gleichartigen Elektrisirung der abgestossenen Flüssigkeitsteilchen sich dieselben von einander zu entfernen streben, so tritt alsbald eine bauchige Verbreiterung der gedachten scheinbaren Elektrodenverlängerung ein, der Polarisationszustand ändert sich also entsprechend Fig. 64.

Wären keine Hindernisse vorhanden, so würde der von der Elektrode abgewandte Theil der elektrischen Fläche sich kugelförmig zu wölben suchen. Da indess die ruhende Flüssigkeit der fortschreitenden elektrisirten Widerstand

1) Vgl. O. L., Molekularphysik II, 222 und Zeitschr. f. phys. Chem. **14**, 301, 1894.

entgegensetzt, so tritt hutpilzartige Verbreiterung ein, ähnlich wie beim Eintreten eines Wasserstrahls in eine ruhende Wassermasse.

Hierdurch wird, wie Fig. 65 andeutet, das elektrische Feld in so beträchtlichem Maasse gestört, dass das grösste Potentialgefälle nicht mehr an der Spitze der Elektrode vorhanden ist, sondern an den Seitenflächen, so dass dort neue elektrische Ströme hervorbrechen, die ihrerseits das Feld wieder derart ändern, dass abermals Entladung an der Spitze stattfindet u. s. w. Die Folge dieser Wirkungen ist, dass sich anstatt der oben erwähnten einfachen Wirbel an den Spitzen der Elektroden eine Strömung ausbildet, wie sie Fig. 66 anzudeuten versucht.[1])

Dauert die Zufuhr der Elektrizität an, so bildet sich allmählich eine stationäre Bewegung aus, welche im Wesentlichen der beschriebenen gleicht, indess derart sich davon unterscheidet, dass sich die einzelnen Schlingen der Strömungslinien in geschlossene längliche Wirbel verwandeln, indem mecha-

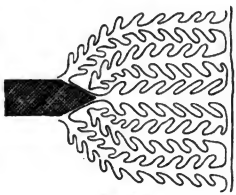


Fig. 66.

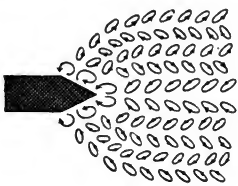


Fig. 67.

nische Uebertragung der Elektrizität auf einzelne kurze Strecken durch Leitung ersetzt wird (Fig. 67).

Die ganze, zwischen Objektträger und Deckglas befindliche Flüssigkeitsschicht zerfällt also, abgesehen von den den Elektroden dicht anliegenden Wirbeln, in ein System länglicher Wirbel, welche die Kraftlinien unter etwa 45° schneiden und abwechselnd nach der einen und anderen Seite gerichtet sind, so dass sie sich gegenseitig unter nahezu rechten Winkeln treffen.

Am besten lassen sich diese Wirbel zur Anschauung bringen bei Acetal, welchem zur Erkennung der Strömungslinien feinzertheiltes Berlinerblau[2]) beigemischt ist. Zur Erzeugung des Stromes dient am einfachsten eine Influenzmaschine, welche so in Drehung gehalten wird, dass sie etwa 10 000 Volt Spannung liefert. Die Farbstofftheilchen sammeln sich dann im Innern der Wirbel, so dass diese als dunkelblaue, scharfbegrenzte Streifen in der farblosen Flüssigkeit erscheinen. Auch bei Anwendung anderer Flüssigkeiten, wie Benzol, Zitronenöl, Lavendelöl, Zimmtöl u. s. w., sowie anderer Farbstoffe, z. B. Karmin, Smaragdgrün, Tusche u. s. w. konnte ich ähnliche Bewegungen

1) Die Figuren sind nur als schematische zu betrachten.

2) Sogenannte Tuschirfarbe, in Tuben zu beziehen von Th. Günzberg in Würzburg.

beobachten, doch treten naturgemäss bei der ungleichmässigen Beschaffenheit der Glasflächen mancherlei Störungen ein, welche zuweilen die Erscheinung ganz verdecken.

Eine sehr wesentliche Störung wird bedingt durch die Elektrisirung der Flüssigkeiten durch Reibung an festen Körpern. Schon oben wurde darauf hingewiesen,[1] dass in Folge der Reibung der Flüssigkeiten an Elektroden und Glasflächen sich häufig an einer Elektrode die Strömung viel heftiger ausbildet als an der andern, ja die Flüssigkeit geradezu gegen eine Elektrode hingezogen, von der anderen dagegen abgestossen wird.

Befinden sich feinzertheilte Pulver in der Flüssigkeit, so werden auch diese elektrisch, und man sieht deshalb in den oben angegebenen Fällen eine stetige Wanderung des Pulvers nach einer Richtung und schliesslich Anhäufung an einer Elektrode, gewöhnlich der positiven.

Bei Anwendung von Berlinerblau in Acetal sammeln sich beispielsweise nach und nach an der positiven Elektrode lange Fäden aus aneinander gereihten Farbstofftheilchen. Noch besser zeigen dies schwarze Oelfarbe oder Tusche, Kadmiumgelb und zahlreiche andere Farben. Sehr hübsch gestaltet sich der Versuch bei Florentinerlack (von Th. Günzberg in Würzburg), in welchem sich grössere hellrothe Körnchen vorfinden, welche sich nach Schluss des Stromes sofort zu Ketten aneinander reihen und rasch der Anode zustreben, die feineren braunvioletten Theilchen zur Seite drängend.

Eine weitere Störung wird verursacht durch die Leitungsfähigkeit der Pulver, welche bedingt, dass sich die Enden jedes Farbstofftheilchen als sekundäre Elektroden verhalten, von welchen selbst wieder Flüssigkeitsströmungen ausgehen. Sind die Theilchen gleichmässig in der Flüssigkeit vertheilt, so kommt die Wirkung nicht merklich zur Geltung; ebenso, wenn sich die Theilchen, was insbesondere bei Tusche sehr schön zu beobachten ist,[2] in Ketten aneinander reihen, welche den Verlauf der Kraftlinien darstellen.[3] In der Regel treten aber da und dort Stockungen ein, welche zu einer Anhäufung von Theilchen führen, die als sekundäre Elektroden am einen Ende die benachbarten Theilchen anziehen, am entgegengesetzten abstossen. Jedes solche Häufchen zeigt deshalb gegen die Anode hin einen scharf abgegrenzten, von einem hellen Hof umgebenen Kopf, gegen die Kathode zu einen in beständiger wellenförmiger Bewegung befindlichen diffus endigenden Schweif, wie in Fig. 68 (speziell für den Fall von in Acetal zertheiltem Berlinerblau) dargestellt ist.[4])

1) O. L., Wied. Ann. **22**, 332, 1884 und Molekularphysik I, 829.

2) Vgl. O. L., Zeitschr. f. Krystallogr. **1**, 477, 1877. Schon Lykopodium in verdünntem Glycerin zeigt die Erscheinung. Besser würden sich Sporen von Bovista eignen. Sehr hübsche Kraftliniensysteme erhält man mit Narceïn.

3) Am besten eignet sich die Tusche in Tuben von Günzberg. Durch Erzeugung der Linien in geschmolzenem Harz und Erstarrenlassen desselben während des Stromdurchgangs könnte man permanente Kraftliniendarstellungen erhalten.

4) Die Wellen entstehen wahrscheinlich durch Bildung neuer Sekundärpole an den Seiten, ähnlich wie in dem in Figur 55 dargestellten Fall. Durch die erzeugten Strö-

Sind zahlreiche derartige Gebilde vorhanden, von denen sich ausserdem die meisten als Ganzes fortbewegen, so erscheint die Flüssigkeit wie mit kleinen fischartigen lebenden Wesen erfüllt. Wird die Richtung des Stromes umgekehrt, so wenden auch sofort diese Fischchen ihre Köpfe nach der entgegengesetzten Seite.

Neben diesen Fischchen finden sich gewöhnlich (besonders bei Tusche) noch einzelne grössere Partikelchen, welche sich mit rasender Geschwindigkeit um ihre Achse drehen und in Folge dessen als genau runde Flecke erscheinen. Die kreiselnde Bewegung ist ganz wie bei dem als „elektrischer Tourbillon"[1]) bekannten Spielzeug dadurch bedingt, dass das isolirende Teilchen, welches auf den den Elektroden zugewandten Seiten gleichartige Elektrizität aufgenommen hat, das Bestreben hat sich um 180° zu drehen, wobei sich die Elektrisirung umkehrt, somit ein neuer Antrieb zur Drehung erfolgt u. s w.[2])

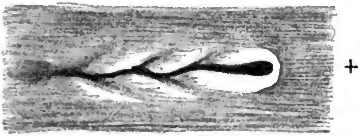


Fig. 68.

Eine ähnliche eigenthümliche Rotationserscheinung wurde von W. Holtz (1880) beobachtet, als in ein cylindrisches Glas mit dünnem Boden mitten auf letzteren ein zugespitzter Zuleiter gestellt, sodann 15 mm hoch Terpentinöl eingefüllt, nun gleichmässig Zinnober eingestreut und sodann die Maschine gedreht wurde.

„Es erscheint plötzlich, von der Spitze auslaufend, in radialer Richtung ein kleiner Faden, 1—2 mm dick, aus zusammengeballten Zinnobertheilchen bestehend, und dieser Faden rotirt nun um die Spitze, sich bis zu einem gewissen Grade verstärkend, so langsam, dass man seine Bewegung ohne Mühe verfolgen kann . . . Findet ein solcher Faden irgend einen Widerstand, sei es in der Beschaffenheit des Glases, sei es in einer grösseren Anhäufung von Zinnobertheilchen, so kehrt er in seiner Bewegung entweder um oder geht

---

mungen wird das lockere Gebilde derart deformirt, dass die neuen Pole kontinuirlich gegen das Schweifende fortrücken und dort verschwinden.

1) Dasselbe ist wohl aus dem von Franklin erfundenen „sich selbst bewegenden Rade" hervorgegangen. Es war dies eine horizontal drehbare sternförmige Franklin'sche Tafel, deren obere Belegung am Rande in vier vorspringende Knöpfchen sich fortsetzte, welche bei der Drehung die Elektrizität an fünf im Kreise herumgesetzte mit der unteren Belegung in Verbindung stehende Metallknöpfchen abgaben (siehe Cuthbertson, Abh. S. 64).

2) O. L., Zeitschr. f. phys. Chem. **14**, 301, 1894. Vgl. auch G. Quincke, Wied. Ann. **59**, 481, 1896 und **62**, 12, 1897, ferner L. Boltzmann, Wied. Ann. **60**, 399. 1896.

5*

ruckweise über derselben fort. Zuweilen bilden sich auch gleichzeitig mehrere Fäden an verschiedenen Stellen und ist ihre Bewegung dann eine entgegengerichtete, so gehen sie bei ihrer Begegnung ineinander auf."[1])

In allen Fällen ist, wie bemerkt (falls die Spannung nicht zu hoch gewählt wird), das Endresultat die Ansammlung der Farbstoffpartikelchen an einer Elektrode, eine Erscheinung, die vielleicht in manchen Fällen, z. B. bei zähen öligen Flüssigkeiten, dazu Verwendung finden könnte, einen vorhandenen suspendirten Niederschlag in einfacher Weise von der Flüssigkeit zu trennen und damit auch die Flüssigkeit zu reinigen. Man könnte diese Ausfällung feinzertheilter Pulver „elektrische Sedimentation" nennen.

Nach Quincke (1861) und v. Helmholtz (1879) können die beobachteten Wanderungen von Flüssigkeiten und suspendirten Körperchen beim Durchgang eines Stromes alle darauf zurückgeführt werden, dass an der Grenze von Flüssigkeit und festem Körper eine elektromotorische Kraft auftritt, welche beide Körper entgegengesetzt elektrisch macht.

In nahem Zusammenhang mit der konvektiven Entladung steht auch die Fortführung von Flüssigkeiten längs den Gefässwänden beim Durchgang eines Stromes, welche, wenn das Gefäss aus zahlreichen Röhren, d. h. einer porösen Masse besteht, in sogenannte elektrische Osmose übergeht.

Dieselbe wurde entdeckt von Reuss (1809) und später von Porret (1816), Becquerel (1835), G. Wiedemann (1852), Freund (1879), Munck (1873), Gore (1880), Th. W. Engelmann (1874) u. A. näher untersucht. Die Flüssigkeiten werden meist in der Richtung des positiven Stromes fortgeführt.

Faraday (1838) beobachtete eine Wanderung von Seidenfäserchen, Heidenhain (1860) von Chlorophyllkörnern, E. Dubois-Reymond (1860) von Stärkekörnern, Jürgensen (1860) bei Karmin und verschiedenen andern Pulvern, ebenso Quincke (1861), welcher ausserdem das Wandern verschiedener Flüssigkeitströpfchen und Gasbläschen studirte. Hierbei zeigte sich bei geringer Stromintensität entgegengesetzte Bewegungsrichtung, was wohl daraus sich erklärt, dass dann die Strömung der Flüssigkeit überwiegt und die Körperchen mitnimmt.[2])

Bringt man eine Flüssigkeit mit derartig feinen suspendirten Körperchen — am besten eignet sich verdünnte Milch — auf den Objektträger des Mikroskops zwischen verschieden geformte Elektroden und bedeckt sie mit einem Deckglas, so ordnen sich die Körperchen, wie ich (1875) gefunden habe[3]), beim Durchgang der Entladungen eines kleinen Induktoriums in die Richtung der Stromlinien, so dass man umgekehrt diesen Versuch dazu benutzen kann, den Verlauf der Stromlinien in verschiedenen Fällen zu untersuchen. Hiermit stimmen auch analoge Beobachtungen von Weyl (1876).

1) Vgl. auch Heydweiller, Verh. d. phys. Ges. Berlin XVI, 32, 1896.

2) Coehn, Zeitschr. f. Elektrochemie IV, 63, 1897, beobachtete die Wanderung auch bei gelösten Kolloiden wie Karamel, Tannin, Jodstärke, Eisenhydroxyd (cf. ibid. S. 141).

3) O. L., Zeitschr. f. Kryst. I, 477, 1877.

Reitlinger und Kraus (1863) fanden, dass Kork und Schwefeltheilchen in Terpentinöl in entgegengesetztem Sinne wandern, nämlich Kork zur Kathode, Schwefel zur Anode.

Sehr zahlreiche Versuche in dieser Art hat später W. Holtz (1880) ausgeführt. Die Flüssigkeit befand sich in einer flachen Glasschale, in welche zwei vertikale Elektroden eintauchten. Gewöhnlich stieg an letzteren die Flüssigkeit in Folge elektrischer Anziehung etwas empor, doch in ungleicher Weise. Das Pulver bedeckte anfänglich den Boden gleichmässig und ordnete sich dann zu verschiedenartigen Figuren. Einige Beispiele sind:

1. Schwefelantimon in Petroleum. — „Klebt stark fast nur am +Pol. Neben ziemlich markirten Kurven tritt ein eigenthümliches Phänomen auf, ein sporadisches Zusammenballen kleinerer Massen und ein ruckweises Fortrutschen der so gebildeten Klumpen, wodurch auf der dunkleren Grundfläche hellere, eigenthümlich gewundene Strassen entstehen (Fig. 69). In der Nähe der Elektrode nimmt diese Bewegung einen entschieden rotatorischen

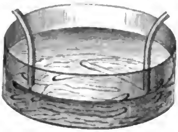


Fig. 69.

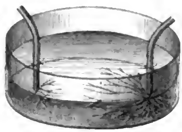


Fig. 70.

Charakter an, ohne dass sie jedoch eine bestimmte Drehungsrichtung manifestirt. Bevorzugte Hebung der Flüssigkeit am —Pol.“

2. Reduzirtes Eisen in Petroleum. — „Bei grösserer Menge vollständige Ruhe der reichen Verzweigung. Wird der eine Leiter (am besten mittelst isolirender Handhabe) ein wenig emporgehoben, so findet von hier aus sofort eine die Figur zerstörende halbkreisförmige Wellenbewegung statt.“

3. Schwefel und Kohle in Schwefeläther. — „Stark bevorzugte Hebung der Flüssigkeit am —Pol. Schwefel klebt fast nur am +Pol. Kohle klebt fast nur am —Pol. Sehr feine, über den ganzen Boden des Gefässes verbreitete Kurven (Fig. 70), aber nur bei sehr geringer Menge des Pulvers und bei äusserst langsamer Drehung (der Maschine).“

4. Schwefelantimon in Schwefeläther. — „Klebt nur am +Pol.... Es entstehen weder Kurven, noch jene eigenthümlichen Bewegungen sich zusammenballender Massen. Nahe der Oberfläche der Flüssigkeit werden scheinbar immer neue Partikelchen nach dem positiven Leiter gezogen, während gleichzeitig an dessen unterstem Ende eine Ablösung der bereits haftenden erfolgt. Letztere bilden eine sich nach dem —Pol erweiternde Wolke, welche diesen jedoch nicht berührt, so dass sich im Umkreise desselben eine fast klare Flüssigkeit befindet. Zugleich findet eine verstärkte Hebung dieser an selbigem Pole statt.

5. Kohle in Schwefelkohlenstoff. — „Stark bevorzugte Hebung der Flüssigkeit am —Pol. Klebt schwach an beiden Polen, aber scheinbar etwas stärker am —Pol. Eigenthümliche Wolkenbildung der wegen der Schwere der Flüssigkeit leicht schwebenden Theilchen.“

7. Der elektrische Wind.

Was bezüglich der konvektiven Entladung in Flüssigkeiten gesagt wurde, gilt mutatis mutandis auch für die konvektive Entladung in Gasen.

Tritt an einer spitzen Elektrode Entladung ein, so wird sie zunächst sich ausbreitend weiterschreiten (vgl. Fig. 52 S. 58), schliesslich aber an einer bestimmten Luftschicht erlöschen, worauf nun diese, weil sie mit der der Spitze gleichnamigen Elektrizität geladen ist, von der Spitze als elektrischer Wind abgestossen wird, während die Spitze selbst einen entsprechenden Gegendruck erfährt, der z. B. in der Drehung des Flugrades zum Ausdruck kommt.

Faraday äussert sich hierüber: „Wenn das Ende eines isolirten Stabes in die Mitte eines Zimmers hineinragt, so findet zwischen ihm und den Wänden des Zimmers, quer durch das Dielektrikum, die Luft, eine Vertheilung statt, und die Linien der Vertheilungskraft häufen sich auf jedes Ende in grösserer Menge als irgendwo, oder die Lufttheilchen am Ende des Stabes werden höher polarisirt, als an irgend einer anderen Stelle des Stabes. Die in Querschnitten auf den Linien der Vertheilungskraft liegenden Lufttheilchen sind am wenigsten polarisirt in Schnitten gegen die Wände hin und am meisten polarisirt in denen näher am Ende der Drähte; so kann es wohl geschehen, dass ein Theilchen am Ende des Drahtes sich in einer Spannung befindet, die unmittelbar in Entladung übergeht, während die nur wenige Zoll davon entfernten in ihrer Spannung noch unter diesem Punkt sind. Gesetzt aber, der Stab sei positiv geladen, und ein ihm nahes Lufttheilchen A sei polarisirt, habe demnach seine negative Kraft gegen den Stab und seine positive Kraft von ihm abgekehrt. Im Augenblick, da eine Entladung stattfindet zwischen der positiven Kraft des der Luft gegenüberstehenden Stabtheilchens und der negativen Kraft des dem Stab zugewandten Lufttheilchens, wird das ganze Lufttheilchen positiv elektrisirt, und wenn im nächsten Augenblick der entladene Stab, vermöge Zuleitung von der hinteren Metallfläche, seinen positiven Zustand wieder annimmt, wirkt er nicht nur auf das Teilchen jenseits A, indem er A wieder in den Polarisationszustand versetzt, sondern A selbst übt vermöge seines Polarisationszustandes eine besondere Vertheilungswirkung auf diese entfernteren Theilchen aus, und demzufolge ist die Spannung zwischen A und B so erhöht, dass auch dort eine Entladung stattfindet, so gut wie zwischen dem Metall und A.....“

„Der Endeffekt ist genau so, wie wenn ein Metalldraht an die Stelle der entladenden Theilchen gesetzt wäre und es erscheint nicht unmöglich,

dass das Wesen des Vorgangs sich in beiden Fällen einst als gleich erweisen werde . . . . ."[1])

Eine eingehende Schilderung der Entstehung des elektrischen Windes giebt **Maxwell**, welche hier ebenfalls beigefügt werden soll, da in Folge neuerer Annahmen, welche die Möglichkeit Luft elektrisch zu machen bestreiten, die Ansichten erheblich auseinandergehen.

Maxwell[2]) schreibt: „Die Erfahrung lehrt, dass der Widerstand der Luft, wenn die Elektrizität eine gewisse Dichte erreicht hat, zu weichen beginnt, so dass die Luft leitend wird. Sie spielt dann in der Umgebung der Spitze die Rolle eines Konduktors. Weil aber in genügender Entfernung von der Spitze die elektrische Kraft nicht hinreicht, um die Isolation aufzuheben, so findet der elektrische Strom bald sein Ende und die Elektrizität sammelt sich in der Luft in der Nähe der Spitze an. Die Spitze ist also von Luftschichten umgeben, die mit ihr gleichsinnig elektrisirt und so gegen die enorme elektromotorische Kraft geschützt sind, die sie angreifen würde, wenn die Spitze allein Trägerin der gesammten Elektrizität sein müsste. Thatsächlich hat also der Konduktor gar keine Spitze mehr, denn man muss die Oberfläche der umgebenden elektrisirten Luft als Konduktoroberfläche ansehen.

Könnte man nun die Luft in Ruhe erhalten, so würde der elektrisirte Körper, wenn wir zu ihm auch die die Spitze umgebende Luft rechnen, seine Ladung bewahren. Da sich aber die Lufttheilchen frei bewegen können, so folgen sie den zwischen ihnen wirkenden Abstossungskräften und suchen sich in Richtung der Kraftlinien so lange fortzubewegen, bis sie unter den umgebenden Körpern die ihnen entgegengesetzt geladenen erreichen. An ihre Stelle kommen dann andere noch nicht geladene Luftpartikel in die Nähe der Spitze und da diese die der Spitze nächsten Theilchen nicht gegen die excessive elektrische Spannung schützen können, so findet eine Entladung statt, nach welcher sich die neugeladenen Partikel entfernen und andern Theilchen Platz machen . . . . ."

„Der so in der Nähe der Spitze entstehende elektrische Wind ist oft sehr heftig. Seine Geschwindigkeit verlangsamt sich aber schon in geringer Entfernung beträchtlich, so dass die elektrisirten Lufttheilchen nur noch von den zu jeder Zeit vorhandenen gewöhnlichen Luftströmungen fortgeführt werden und so eine unsichtbare elektrische Wolke bilden. Kommen dann die Theilchen in die Nähe einer leitenden Fläche, etwa in die Nähe einer Wand, so induziren sie in dieser eine ihrer eigenen Elektrizität entgegengesetzte Ladung und werden dann oft an die Wand durch die auftretende elektromotorische Kraft herangezogen und entladen. Meist ist aber diese elektromotorische Kraft zu gering und dann bleiben die Lufttheilchen lange Zeit in der Nähe der

1) **Faraday**, Experimentaluntersuchungen S. 403, § 1406 und S. 410. § 1434.

2) **Maxwell**, Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus. Berlin, Springer, 1883, Bd. I S. 57, § 55.

Wand oder anderer Leiter mit ihrer vollen Ladung und bilden eine elektrische Atmosphäre um dieselben, deren Existenz sich oft durch das Elektroskop verräth. . . .

Geschieht der Uebergang der Elektrizität durch die Bewegung der mit ihr geladenen Theilchen, so bezeichnet man sie als elektrische Konvektion oder als konvektive Entladung."

Die ersten eingehenderen Versuche machte wohl der Abt Nollet, welcher schon seit 1746 mehrfach das Ausströmen der Elektrizität aus Spitzen untersuchte. Indess erst als Franklin (1847) gefunden hatte, dass eine abgeleitete Nadel im Stande ist, einen elektrischen Körper auf grossen Abstand zu entladen, fand die Erscheinung in weiteren Kreisen Beachtung. Bekanntlich war es auch Franklin, welcher zuerst im Jahre 1750 auf den Gedanken kam und denselben öffentlich aussprach, dass es möglich sein müsse, auf solche Weise auch die Elektrizität von Gewitterwolken aufzusaugen, Vermuthungen, welche bald darauf zuerst von Dalibart und Romas in Frankreich und dann von Franklin selbst mittelst seines Drachens als richtig erwiesen wurde.

Einige einfache Versuche zur Demonstration dieser Spitzenwirkung sind die folgenden:

A. Saugwirkung der Spitzen.

Demonstration des Blitzableiters (nach Frick.[1]) Auf dem Brettchen *mm* (Fig. 71) ist der gebogene Glasstab *a* befestigt, dessen Ende eine hölzerne oder messingene Fassung *b* trägt, in welcher der gleichdicke, oben aber in die feine Spitze *c* auslaufende Draht *d* mit so viel Reibung verschoben werden kann, dass er in jeder Stellung hält. Dieser Draht trägt unten die angeschraubte Kugel *e* von 3—5 cm Durchmesser, doch kann auch selbst eine Zinkkugel aus dem Flintenkugelmodell gebraucht werden; der Kugel *e* gegenüber ist auf dem Brettchen eine zweite *f* befestigt, welche eine gute Ableitung hat. Richtet man die Spitze des Drahtes gegen den geladenen Konduktor, so saugt sie stillschweigend Elektrizität ein, welche je nach der Entfernung der Kugeln als grösserer oder kleinerer Funken von der oberen in die untere Kugel übergeht.

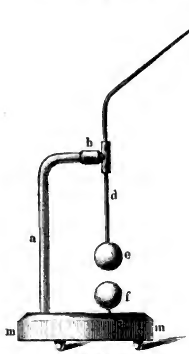


Fig. 71.

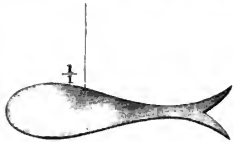
Chwolson (1885) ersetzt den Knopf einer Leydener Flasche durch eine Spitze und balancirt auf dieser einen Metallstab, der an einem Ende eine aus Wolle nachgebildete Wolke trägt, am anderen ein Gegengewicht. In einem kleinen Häuschen be-

1) J. Frick-O. Lehmann, Phys. Technik, 6. Aufl. II, 521, 1896.

findet sich eine Schale mit Schwefeläther. Kommt die Wolke über das Dach dieses Häuschens, so schlägt ein Funken über und der Schwefeläther entzündet sich, da die Leitung vom Dache an der betreffenden Stelle unterbrochen ist. Steckt man nun aber auf das Dach die den Blitzableiter darstellende Spitze, welche durch einen Draht mit dem Boden in Verbindung steht, so wird die Flasche langsamer entladen, es folgt keine Funkenbildung und keine Entzündung des Schwefeläthers.

Langsame Entladung einer Flasche. Man hängt eine Kette an die äussere Belegung, hält ihr Ende zwischen den Fingern mit einer feinspitzigen Nadel zusammen und nähert die letztere langsam dem Knopfe der Flasche; sie wird langsam entladen, wobei man im Dunkeln die Nadelspitze leuchten sieht.

Wird ein Glockenspiel mit einer Spitze versehen und in einiger Entfernung von einem Konduktor oder einer mit der Maschine verbundenen isolirten Spitze aufgestellt, so beginnt es zu läuten.


Fig. 72.

Der goldene Fisch. Ein Blättchen von Rauschgold wird, wie Fig. 72, zugeschnitten und mittelst Klebwachs an einem seidenen Faden aufgehängt. Ist es mit der Kopfseite dem Konduktor zugekehrt, so wird es von demselben angezogen, ist aber die Schwanzseite gegen denselben gerichtet, so findet Abstossung statt. Aus den Spitzen des Schwanzes strömt nämlich die gleichartige Influenzelektrizität aus, während im Kopfe die ungleichartige sich anhäuft.

B. Nachweis des elektrischen Windes.

Beccaria (1771) machte den von der Spitze ausgehenden elektrischen Wind dadurch sichtbar, dass er auf dieselbe ein Stück brennenden Phosphor aufsetzte. Die Bewegung des Rauches liess dann deutlich den Verlauf der Strömung erkennen.

Eine andere Art, den elektrischen Wind sichtbar zu machen, gab Cuthbertson (1786) an. Man steckt ein Stück erhitzten Kamphers auf die Spitze auf, es bilden sich dann durch die Strömungen und Kondensation des Dampfes Kampferdendriten, welche die Form von Moos haben.[1])

Sehr gut kann man (eigenen Versuchen zufolge) bei einer vertikal abwärts gerichteten Spitze, gegen welche man mittelst eines Blasebalgs Tabackrauch bläst, die Luftbewegung verfolgen oder, indem man mittelst einer punktförmigen Lichtquelle ein Schattenbild auf einem Schirm entwirft, durch Anblasen von Chloroformdampf oder Kohlensäure.

Faraday[2]) bemerkt: „Hält man eine positiv geladene stumpfe Spitze gegen unisolirtes Wasser, so erscheint ein Stern oder Glimmen an der Spitze, von

1) Cuthbertson, Abh. v. d. Elektr. S. 306, 1786.
2) Faraday, Experimentaluntes. S. 413, § 1440.

der ein Luftstrom ausgeht, wodurch eine Depression der Wasserfläche erfolgt; bringt man aber die Spitze so nahe, dass tönende Büschel übergehen, so hört der Luftstrom augenblicklich auf und die Wasserfläche wird eben."[1])

Töpler[2]) beobachtete das Entstehen des elektrischen Windes im Schlierenapparat. „Ein Buchsbaumstäbchen mit abgerundeten Enden, ungefirnisst, wurde mit der Elektrizitätsquelle (Elektrophormaschine) verbunden und dem freien Ende eine zur Erde abgeleitete Metallkugel genähert. Im Dunkeln glimmte das Stäbchen an seiner Oberfläche nicht allein an seinem Ende, sondern noch einige Centimeter rückwärts. Wurde die Vorrichtung vor dem Hauptlinsensystem des optischen Apparates bei konstanter Lampenbeleuchtung betrachtet, so erblickte man eine wallende Luftbewegung, welche sich flammenartig von dem Stabe nach der Kugel hinzog."

Da, wie Töpler bemerkt, Luftströmungen an sich von dem Schlierenapparate nicht sichtbar gemacht werden können, da die Wirkung auf Verschiedenheit des Brechungsexponenten beruht, so ist zu schliessen, dass in der glimmenden Schicht die Luft erhitzt wurde.

C. Das Flugrad.

Zur Ausführung des Versuchs gebraucht man das isolirte Stativchen, Fig. 73a. Das Flugrad selbst besteht aus einem beiderseits fein ausgespitzten und S-förmig gebogenen Messingdrahte, Fig. 73b, in welchen man in der Mitte eine konische Vertiefung gebohrt hat, womit er auf die Nadel des Stativs gesetzt wird; diese Nadel wird sodann durch einen Draht mit dem Konduktor der Elektrisirmaschine verbunden. Wirksamer wird die Vorrichtung, wenn man zwei Drähte zu einem Kreuz vereinigt. Grosse Flugräder mit 12 Speichen von 60 cm Durchmesser habe ich für das Karlsruher Institut herstellen lassen.

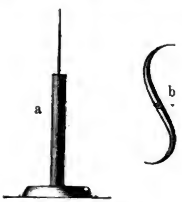


Fig. 73a u. b.

Das Flugrad wurde zuerst von Wilson angegeben und von Hamilton[3]) beschrieben. Was die Wirkung anbelangt, so nahm Hamilton an, die ausströmende Elektrizität finde in der Luft einen Widerstand und drücke deshalb die Spitze zurück.

Joseph Weber[4]) ist derselben Ansicht. Er schreibt: „Fährt die elektrische Materie aus den Spitzen eines vorher beschriebenen Kreuzes, so prallt diese an die Luft, als einen der elektrischen Materie widerstehenden Körper an und treibt die leicht beweglichen Drähte — das Kreuz zurück . . . Fährt

1) Ueber ähnliche Beobachtungen siehe G. Wiedemann, Elektrizität **4**, 620 u. ff.; ferner Piltchikoff, C. R. **118**, 631, 1894.

2) Töpler, Pogg. Ann. **134**, 215, 1868.

3) Hamilton, Phil. Trans. **51**, 905, 1760.

4) Joseph Weber, Vollständige Lehre von den Gesetzen der Elektrizität, München 1791.

die elektrische Materie im Falle des negativen Zustandes in die Spitzen des Kreuzes hinein aus der Luft, so kann dies ohne Stoss auf die Spitzen nicht geschehen; da erfolgt denn abermals das Umdrehen des leicht beweglichen Kreuzes."

Derselbe benutzte bereits ein auf einer schiefen Ebene berganlaufendes Flugrad, welches gleichzeitig die Grösse des mechanischen Effekts zu beurtheilen gestattet.

Biot, de la Rive, Becquerel, Pouillet, G. Wiedemann[1]) u. A. waren der Meinung, es handle sich um eine Reaktionskraft wie bei der Turbine, was zur Voraussetzung hätte, dass der Elektrizität ähnlich wie dem Wasser Trägheit zukäme; Cavallo, Cuthbertson, Riess u. A. dagegen erklärten sie in richtiger Weise durch die gegenseitige Abstossung der Luft und Spitze.

8. Elektrisirung durch elektrischen Wind.

A. Elektrisirung von Isolatoren.

Was wird aus der im elektrischen Wind enthaltenen Elektrizität, wenn derselbe auf seinem durch die Kraftlinien vorgezeichneten Wege auf ein Hinderniss trifft?

Die Antwort auf diese Frage ergiebt sich schon aus der bekannten Saugwirkung der Spitzen, wie sie bei Elektrisirmaschinen und Influenzmaschinen zur Anwendung kommt. In diesem Falle trifft der elektrische Wind auf eine entgegengesetzt elektrische Fläche und giebt dort seine Elektrizität ab.

Dass er aber auch an eine unelektrische isolirende Fläche seine Elektrisirung abzugeben vermag, zeigen die alten Versuche von Cigna, Riess, Cavallo (1795) und Tomlinson (1864).

Es genügt schon, einer Elektrizität ausströmen lassenden Spitze oder Flamme eine isolirende Glas- oder Porzellanstange zu nähern, um alsbald sehr deutliche Zeichen von Elektrisirung zu erhalten.

Auf der Möglichkeit, einen Isolator durch den elektrischen Wind dauernd und sehr stark elektrisch zu machen, welche zuerst von W. Holtz (1865) klar erkannt wurde, beruht auch der Vorzug der Holtz'schen Konstruktion der Influenzmaschine vor andern älteren Konstruktionen.

Wird ein Flugrad in einen isolirten metallenen Behälter eingeschlossen, so ladet sich letzterer allmählich so stark, dass die Ausströmung und somit die Drehung des Flugrades aufhört. Ebenso ein Glasgefäss. Wird das Glasgefäss aussen abgeleitet, so dauert die Drehung länger an, indem nun aussen durch Influenz entgegengesetzte Elektrizität angezogen wird, so dass sich das Glasgefäss nach und nach wie eine Leydener Flasche ladet.

---

1) Siehe G. Wiedemann, Elektrizität IV 2. 626 Anmerk. 1885.

Auf ähnlichen Verhältnissen dürfte es beruhen, dass nach Arnò[1]) ein Drehkreuz aus dünnem Messingblech im elektrostatischen Drehfeld in gewöhnlicher Luft nicht in Rotation kommt, wohl aber in verdünnter. Glimmerflügel rotiren auch in gewöhnlicher Luft.[2])

Eine Wirkung unsichtbarer Entladungen in den Luftschichten unter den lose anliegenden Belegen einer Leydener Flasche ist die Anhäufung der Elektrizität auf dem Glase. (Vgl. auch S. 24.)

Dass der grösste Theil der Ladung einer solchen Flasche nicht auf den metallenen Belegen, sondern auf der Glasoberfläche haftet, zeigt man mittelst einer zerlegbaren Leydener Flasche. Sowohl die äussere wie die innere Belegung sind aus Blech anstatt Stanniol hergestellt und haben ebenso wie die Flasche selbst Becherform. Mit der inneren Belegung ist der Stab mit dem Knopf dauernd verbunden, so dass man sie damit herausziehen kann. Man ladet die Flasche wie gewöhnlich, stellt sie auf eine gut isolirende Unterlage (Ebonitscheibe, Harzkuchen oder dergl.), zieht nun die innere Belegung heraus, natürlich ohne dabei gleichzeitig die äussere zu berühren, entfernt den Glasbecher aus der äusseren Belegung und entladet diese. Nun setzt man den Glasbecher wieder hinein und in diesen die innere Belegung. Legt man jetzt den Auslader an, so erweist sich die Flasche immer noch geladen, obschon die Belegungen einzeln entladen wurden.

Befindet sich zwischen den Belegungen eines Kondensators und dem festen Dielektrikum eine Luftschicht, so finden hier, sowie auch in der Nähe der Ränder der Belegungen, alternirende Entladungen statt, welche nicht nur Energie gebrauchen, sondern auch durch Erwärmung des Dielektrikums dessen Widerstandskraft gegen Durchschlagung vermindern und sich durch ein verhältnissmässig lautes Geräusch kundgeben.

Lässt man den elektrischen Wind gegen ein auf einer Tischfläche liegendes Blatt Papier strömen, so wird dasselbe so stark elektrisirt, dass es fest am Tische haftet.[3])

Bei einem Versuche von Warren de la Rue und H. Müller mit einer Chlorsilberbatterie von 8040 Elementen wurde trockenes Löschpapier durch den von einer spitzen Elektrode ausgehenden elektrischen Wind so stark elektrisirt, dass es auf der anderen plattenförmigen Elektrode von 11,4 qcm Fläche mit einer Kraft von 8,4 bezw. 3,5 Kilogramm adhärirte, je nachdem die Spitze negativ oder positiv war.

Die aus einer Spitze gegen eine Glasfläche strömende Elektrizitätsmenge ist so beträchtlich, dass bei Anwendung von Wechselstrom, wobei die Glasfläche jeweils wieder unelektrisch gemacht und umelektrisirt wird, unter Um-

1) Arnò, Atti Acc. Sc. Torino **29**, 429, 1894.

2) The Elektrician **33**, 210, 1894. Heydweiller, Verh. phys. Ges. Berl. **16**, 32, 1896.

3) Vgl. auch Röntgen, Wied. Ann. **4**, 798, 619 und v. Obermayer, Wien. Ber. **99**, (2), 269, 1890 und Beibl. **14**, 1013, 1890.

ständen eine mittlere Stromstärke auftreten kann, welche zur Speisung einer Glühlampe zureicht.

Tesla[1]) schreibt in dieser Hinsicht: „Wenn z. B. ein kleiner Knopf oder lieber ein sehr dünner Draht oder Faden in eine nicht evakuirte Kugel eingeschlossen und mit der Klemme der Spule (des Hochfrequenztransformators) verbunden wird, so kann derselbe glühend gemacht werden. Die Erscheinung wird noch interessanter dadurch, dass sich das obere Ende des Fadens rasch im Kreise herumbewegt und dadurch das Aussehen eines leuchtenden Trichters darbietet, welcher sich bei wachsender Spannung erweitert."

B. Die Vakuumflasche.

Berührt man die Glaskugel mit der Hand, so hat man eine Art Leydener Flasche, welche sich mittelst einer Elektrisirmaschine ebenso laden lässt, wie eine andere, besonders wenn man das Ueberströmen der Elektrizität zur Glaswand durch Evakuiren erleichtert. Eine solche Flasche bezeichnete ich früher als Vakuumflasche.[2]) Wie ich später fand, ist der Apparat indess als „Leydener Vakuum" schon im vorigen Jahrhundert bekannt gewesen.

Nach Cavallo[3]) ist dasselbe eine Erfindung von Henley. Es ist seiner Beschreibung nach „eine kleine Flasche, auf ihrer äusseren Fläche etwa drei Zoll hoch mit Stanniol belegt; der Hals derselben ist in eine messingene Kappe eingekittet, die eine Oeffnung mit einer Klappe hat; und von dieser Kappe geht ein Draht mit einer stumpfen Spitze einige Zoll tief in die Flasche hinein. Man zieht die Luft aus der Flasche und schraubt auf die Kappe, in welche der Hals eingekittet ist, eine messingene Kugel, um die Klappe vor der Luft zu bewahren, und überhaupt das Eindringen der Luft in die luftleere Flasche zu verhindern.[4]) Diese Flasche nun zeigt die Richtung der elektrischen Materie, sowohl beim Laden als beim Ausladen, sehr deutlich; denn wenn man sie unten bei ihrem Boden hält und ihre messingene Kugel an den positiv elektrisirten ersten Leiter bringt, so wird man sehen, dass die elektrische Materie aus dem in der Flasche befindlichen Drahte als ein Strahlenkegel ausströmt, wenn man sie aber ausladet, wird anstatt des Strahlenkegels ein Stern erscheinen. Hält man hingegen die Flasche bei ihrer messingenen Kappe, und bringt den Boden an den ersten Leiter, so wird die Spitze des in ihr befindlichen Drahtes beim Laden mit einem Sterne[5]) und beim Ausladen mit einem Strahlenkegel erleuchtet erscheinen. Bringt man diese Flasche an einen

1) Tesla, Untersuchungen über Mehrphasenströme u. s. w., Halle 1895, S. 166.

2) O. L., Wied. Ann. **22**, 308, 1884.

3) Cavallo, Vollst. Abh. von der Elektrizität, S. 181, 1785.

4) „Die innere Seite der Flasche darf nicht erst belegt werden, da die elektrische Materie den luftleeren Raum durchdringt, und also aus dem Drahte frei an die Fläche des Glases kommen kann, ohne der Beihülfe einer leitenden Belegung zu bedürfen."

5) Aus der Abbildung ist zu ersehen, dass unter „Stern" eine kugelige Hülle von negativem Glimmlicht zu verstehen ist.

negativ elektrisirten Leiter, so werden sich alle diese Erscheinungen, beim Laden sowohl, wie beim Ausladen umkehren."

Cuthbertson[1]) bezeichnet die Vakuumflasche als „künstliches Nordlicht". Dasselbe ist nach seiner Beschreibung ein Glas (Fig. 74), ungefähr von der Gestalt einer Bologneser Flasche. Es ist am Halse mit Kupfer bedeckt und mit einem Hahn versehen, vermittelst dessen es luftleer gemacht wird.

„Wenn man dieses Glas reibt, wie man gewöhnlich Glas elektrisirt, so wird es von innen erleuchtet werden und Strahlen schiessen wie das Nordlicht. Man kann es noch viel mehr mit Licht füllen, wenn man es an den Leiter einer in Bewegung gebrachten Elektrisirmaschine hält; und in diesem Fall wird der ganze Bauch der Flasche mit einem strahlenden Licht erfüllt werden und dieses wird auch noch lange anhalten, nachdem es von dem ersten Leiter (Konduktor) abgenommen worden.

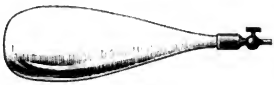


Fig. 74.

Das Bewunderungswürdigste bei diesem Versuch ist, dass, wenn man die Flasche eine lange Zeit weggesetzt hat (wenn das Wetter günstig ist), sie sogleich wieder zu leuchten anfängt, wenn man sie wieder in die Hand nimmt und das so stark wie vorher." . . .

„Wenn man die Flasche zu verschiedenen Zeiten unter dem Leerpumpen von der Luftpumpe abnimmt und an den ersten Leiter hält, so wird man finden, dass sie das schönste und stärkste Licht giebt, ehe sie bis zu dem Grade von Luft gereinigt ist, den man durch die Pumpe erlangen kann.[2]) Wenn die Luft in derselben bis auf den höchsten Grad verdünnt ist, so wird man bei dem Elektrisiren finden, dass sie nur ein mattes weissliches Licht giebt, das kaum einen Gegenstand zu erleuchten im Stande ist."

Wie schon oben erwähnt, stellte der Abt Nollet eine Leydener Flasche her, bei welcher die äussere Belegung durch das Vakuum in einem Luftpumpenrezipienten gebildet war. Bei der Ladung füllte sich natürlich der Rezipient mit Licht an, woraus Nollet schliessen zu dürfen glaubte, dass das Glas durchgängig für Elektrizität sei. Bei einer Wiederholung des Versuchs fand indess Cuthbertson[3]), dass das Leuchten nur so lange dauert, bis die Flasche geladen ist. Sie wurde wieder entladen, wenn man den Knopf mit dem Luftpumpenteller in leitende Verbindung brachte.

Bei meinen eigenen Versuchen[4]) benutzte ich eine etwa 1 Liter haltende Vakuumflasche, bestehend aus einem gewöhnlichen luftdicht verschlossenen und

1) Cuthbertson, Abhandl. v. d. Elektrizität, S. 143, 1786. Ebenso Cavallo, Vollst. Abhandl. d. Elektrizität, S. 166, 1785.

2) Cuthbertson's Pumpe war eine Pumpe mit geschlossenem Stiefel und Kegelventilen. Sie vermochte angeblich auf 0,00001 zu verdünnen.

3) Cuthbertson, Abhandl. S. 63, 1786.

4) O. L., Wied. Ann. **22**. 308, 1884.

gut evakuirten Kolben, durch dessen Stöpsel eine Elektrode eingeführt war. Fasste man die Flasche mit der Hand und näherte die Elektrode dem Konduktor einer Elektrisirmaschine, so lud sie sich ganz wie eine gewöhnliche Leydener Flasche; berührte man dann die Elektrode mit der Hand, so erfolgte ein Schlag verbunden mit heller Lichterscheinung im Innern, weil nunmehr die gesammte aufgespeicherte Elektrizität sich wieder rückwärts entlud.

War das äussere Ende der Elektrode spitz, so erfolgte, nachdem die Flasche geladen war, von selbst langsame Entladung durch die Spitze, welche Minuten lang anhielt. Stellte man eine derartige geladene Flasche in ein vollkommen dunkles Zimmer, so beobachtete man Sekunden oder gar Minuten lang das Innere mit diffusem phosphorischem Lichte gefüllt. Bei Annäherung der Hand an die Spitze wurde das Leuchten intensiver, hörte aber desto früher auf. Gegen Ende wurde es deutlich intermittirend.[1])

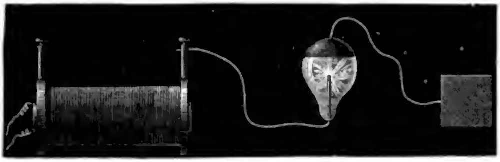


Fig. 75.

Man kann die Flasche auch in umgekehrter Weise laden, nämlich auf die äussere Glaswand von dem Konduktor Funken überspringen lassen, während man gleichzeitig die Elektrode ableitend mit der Hand berührt. Ist die Elektrode fein zugespitzt, so dass die dem Konduktor gleichnamige Elektrizität ausströmen kann, so ist selbst diese ableitende Berührung nicht nöthig.

Bringt man die Vakuumflasche mit dem einen Pol eines Tesla'schen Oeltransformators in Verbindung, so kommt die Elektrode zu hellem Glühen, so dass die Flasche als „elektrostatische Glühlampe“[2]) benutzt werden kann. Es empfiehlt sich nach Tesla, als Elektrode ein Kügelchen von feuerbeständigem Material zu wählen. Auch wenn dasselbe ein schlechter Leiter ist, kommt es doch zu hellem Weissglühen (Fig. 75) und verflüchtigt sich allmählich. Der Effekt wird erhöht, wenn die Flasche theilweise mit einer Belegung verbunden wird, welche mit einer Blechtafel oder dem Erdboden in Verbindung steht.

1) O. L., Wied. Ann. **22**, 309, 1884. Aehnliche Versuche mit Vakuumröhren hat auch Bottomley (Nat. **23**, 218, 1880) ausgeführt. Spottiswoode (1878) verband die Elektroden einer Geissler'schen Röhre mit den Belegungen eines Kondensators unter Zwischenfügung einer Luftstrecke, in welcher die Entladung als elektrischer Wind übergehen musste. Dieselbe dauerte ebenfalls Minuten lang. Vgl. ferner Boudet, Beibl. **8**, 834, 1884 und Wernecke, Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterricht **10**, 191, 1897.

2) de Fodor, Experimente mit Strömen hoher Wechselzahl, S. 229, 1894.

H. Ebert und E. Wiedemann verbinden die Vakuumflasche mit dem einen Ende eines Lecher'schen Drahtsystems[1]). Die Elektrode hat die Form einer kleinen Kreisscheibe. Sie erscheint mit blauem Licht bedeckt und von einem rothen Strahlenkranz umgeben.

C. Verhalten des Staubes.

Staubtheilchen in der Luft nehmen die Elektrizität des elektrischen Windes sehr leicht an und wandern dann mit demselben den Wänden des Raumes oder der entgegengesetzten Elektrode zu, wo sie sich ablagern, so dass die Luft auf solche Weise von Staub befreit werden kann.

Die Reinigung der Luft von Staub durch elektrische Entladungen wurde zuerst von Aitken[2]) und Lodge[3]) beobachtet. Eingehendere Untersuchungen führten v. Obermayer und v. Pichler[4]) aus. Der Staub sammelt sich in grossen Flocken im Bereich der Spitzen, besonders wenn diese negativ sind.

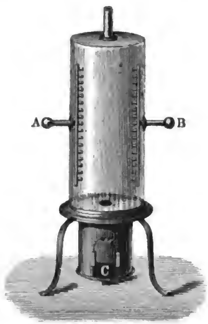


Fig. 76.

Voss in Berlin konstruirt zur Demonstration dieser Nutzanwendung den in Fig. 76 dargestellten Apparat. Derselbe besteht aus einem Glascylinder, in welchen zwei Sauger *A* und *B* eingeführt sind. Unterhalb der unteren Oeffnung des Glascylinders befindet sich ein kleines Blechgefäss, in welches glimmender Zunder u. dergl. eingebracht wird, so dass durch den Glascylinder Rauch aufsteigt. Verbindet man nun die Sauger mit den Konduktoren einer Influenzmaschine, so bemerkt man alsbald eine wirbelnde Bewegung in der Rauchmasse und in Kurzem ist sie verschwunden.

Die Einwirkung einer elektrisirten Spitze auf die Nebeltröpfchen in einem Dampfstrahl beschreibt R. v. Helmholtz[5]): „Es entsteht sofort nach der Elektrisirung ein nebelfreier Raum vor der Spitze und innerhalb weniger Sekunden ist Nebel und Staub und alles, was in der Luft suspendirt war, in einer Art von Sturmwind hinweggefegt und bleibt wahrscheinlich an den Wänden des Gefässes haften. Von nun an ist es überhaupt (bis auf selten hinwegzubringende vereinzelte Kerne) unmöglich (durch adiabatische Expansion) Nebel im Raume zu bilden, es sei denn, dass frische Luft aus der Atmosphäre eingelassen werde."

1) Siehe O. L., Elektrizität und Licht, S. 126.
2) Aitken, Beibl. 8, 639, 1884.
3) Lodge, Beibl. 8, 814, 1884.
4) v. Pichler, Beibl. 10, 641, 1886.
5) R. v. Helmholtz, Wied. Ann. 32, 4, 1887.

Hält man zwischen die Spitze, von welcher der elektrische Wind ausgeht, und den Dampfstrahl einen Schirm, gleichgültig aus welchem Material, so hindert derselbe die Wirkung und wirft gleichsam einen elektrischen Schatten auf den Strahl.[1])

Es scheint übrigens in manchen Fällen auch eine Eigenelektrizität des Staubes oder eine Bevorzugung der einen oder andern Elektrizität durch denselben eine Rolle zu spielen. So machte mich Hertz gelegentlich darauf aufmerksam, dass sich bei dem sog. elektrischen Perpetuum mobile des Karlsruher Instituts der Staub auf der den Kasten abschliessenden Glasscheibe in dichten Mengen gegenüber dem negativen Pol der Zamboni'schen Säule abgesetzt hatte, während die Umgebung des positiven Pols davon frei war.[2])

Nach Precht[3]) werden Staubpartikelchen von einer Spitze nicht fortgestossen, wie man gewöhnlich annimmt, sondern bleiben daran haften.

Ueber das Verhalten des Rauches schreibt Cavallo[4]): „Man nehme eine messingene Kugel oder sonst ein Stück Metall, das frei von allen Ecken oder Spitzen ist und etwa drei bis vier Zoll im Durchmesser hat, und isolire es auf einem schmalen elektrischen Stative; dann gebe man ihm einen Funken mit dem Knopfe einer geladenen Flasche und stelle sogleich ein eben ausgeblasenes und noch rauchendes Wachslicht daran. Der elektrisirte Körper wird nun den Rauch anziehen, der ihn ganz umgeben und eine Art von Atmosphäre um ihn bilden wird. Diese Atmosphäre bleibt einige Sekunden lang stehen, fängt darauf von unten oder bei der Grundfläche des Körpers an zu verschwinden und verliert sich nach und nach, bis sie endlich in Gestalt einer dünnen Säule gänzlich von dem elektrisirten Körper aufsteigt, sich aber bald ausdehnt und durch einen beträchtlichen Raum verbreitet."

Nach Antolik[5]) ballt sich Rauch, welcher auf einer glatten schwarzen Tischfläche ausgebreitet ist, zu Knäueln, analog den Schäfchenwolken zusammen, sobald man eine positiv geladene Leydener Flasche darüber bringt. Zugleich zeigen sich sonderbare Bewegungen anderer Art, welche auf feine Strahlen elektrischen Windes zurückgeführt werden können.

Vettin[6]) blies auf einen durch drei Siegellackstangen begrenzten quadratischen Raum auf einer Tischfläche dichten Tabaksrauch und näherte, nachdem derselbe zur Ruhe gekommen war, von der offenen Seite des Quadrats her einen positiv elektrischen Elektrophordeckel bis 15 cm Abstand vom Tische. Der Rauch ordnete sich dann sofort zu Bändern und zertheilte sich in kleine

1) R. v. Helmholtz, Wied. Ann. **32**, 3, 1887.
2) Vgl. das Verhalten von Pulvern in Flüssigkeiten, S. 68.
3) Precht, Wied. Ann. **49**, 160, 1893.
4) Cavallo, Vollständige Abhandlung der Elektrizität, aus dem Engl. 1786. S. 240.
5) Antolik, Wied. Ann. **1**, 310, 1877.
6) Vettin, Meteorolog. Zeitschr. **3**, 38, 1886.

Wölkchen, die zum Deckel aufstiegen, dann wieder abgestossen wurden und sich in gewundene Streifen verwandelten. Bei negativer Elektrisirung des Elektrophordeckels entstanden nur wenige breite Streifen.

---

9. Das Entladungsgebiet.

Fragt man, ob sich der elektrische Wind von der glimmenden Spitze gleichmässig nach allen Richtungen ausbreitet oder in welcher Weise, so wird man auf Grund der allgemein verbreiteten Ansichten die Antwort erhalten, dass derselbe einen Strahl ohne scharfe Grenze bilde, wie etwa ein aus einem Blasebalg austretender Luftstrom, in welchem (wenigstens in den von der Mündung entfernteren Querschnitten) eine stetige Abnahme der Geschwindigkeit nach aussen hin stattfindet.

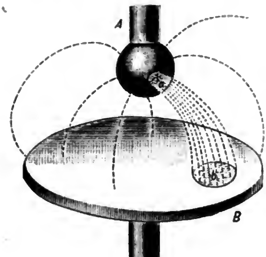


Fig. 77.

Dies trifft nun für den elektrischen Wind insofern nicht zu, als der wirklich Elektrizität fortführende Strom eine ganz scharfe Grenze hat, wenn auch allerdings die angrenzende Luft, wie bei einem gewöhnlichen Luftstrahl, durch Reibung mitgenommen wird. Wenigstens glaube ich nur unter dieser Annahme, wie im Folgenden gezeigt wird, die beobachteten Erscheinungen erklären zu können.

Den Raum, welchen der Elektrizität führende Strahl einnimmt, nenne ich das Entladungsgebiet oder, insoweit er mit Licht erfüllt ist, die Aureole.

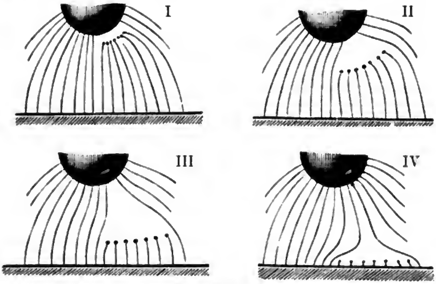
Würde beispielsweise einer kugelförmigen Kathode A (Fig. 77) eine scheibenförmige Anode B gegenüberstehen und würde an dem Fleck a der ersteren Glimmentladung eintreten, so würde der von dieser Stelle ausgehende Strahl elektrischen Windes ganz scharf begrenzt sein durch eine am Umfange von a beginnende und am Umfange der Stelle b, auf welcher die Luft ihre Elektrizität abgiebt, endigende Röhre, deren Innenraum das ist, was ich als das Entladungsgebiet bezeichne. Ausserhalb dieser Röhre wird zwar die Luft durch Reibung und Stoss auch etwas mitgenommen, indess enthält sie dort keine (positiven und negativen) elektrischen Ladungen.

Die Form der Röhre, welche das Entladungsgebiet begrenzt, entspricht ungefähr dem Verlauf der Kraftlinien vor der Entladung und würde sich denselben sogar ziemlich genau anschliessen für eine momentane Entladung, bei welcher, wie die Figg. 78 I bis IV andeuten, eine zu a kongruente elek-

trische Luftschicht sich dort abhebt und, den Kraftlinien folgend, gegen *b* hinwandert.[1])

Ist die Röhre mit elektrischen Theilchen angefüllt, so wird durch diese natürlich das Feld etwas geändert und stimmt nicht ganz überein mit demjenigen vor der Entladung.

Kommt die elektrische Luftschicht bei *b* an, so bewirkt sie dort in der Regel eine solche Erhöhung des Potentialgefälles, dass daselbst ebenfalls leuchtende Entladung erfolgt, also *b* ebenfalls mit Glimmlicht sich bedeckt wie *a* und zwar so, dass die Umrisse der beiden Figuren sich genau entsprechen, als ob sie durch unsichtbare Linien entsprechend dem Verlauf der Röhre verbunden wären.



Figg. 78 I—IV.

Dreht man *A* um seine Achse, so dass *a* einen Kreis beschreibt, so wandert auch *b* mit, da es nothwendig den Abschluss der von *a* ausgehenden Röhre bilden muss. Dreht man aber *B*, so ändert sich nichts, da die Strömung in der Röhre hierdurch natürlich nicht beeinflusst wird.

Ist *A* Kathode, also *B* Anode, so ist *b* in der Regel sehr viel grösser als *a*. Letzteres ist gewöhnlich nur ein sehr kleiner leuchtender Punkt, *b* dagegen eine ausgedehnte mit bläulichem Lichte leuchtende Fläche, das sogenannte positive Glimmlicht.

In grösserer Ausdehnung beobachtete dasselbe zum ersten Mal Beccaria[2]) bei Versuchen im elektrischen Ei. Da er den negativen Lichtpunkt überhaupt nicht bemerkte[3]), schloss er aus dem Versuche, dass es nur eine elektrische Materie gebe und dass dies die positive Elektrizität sei.

1) Schliesslich ordnen sich die Kraftlinien wieder wie zu Anfang, d. h. greifen zwischen die Kraftlinien der Doppelschicht hinein, als ob diese nicht vorhanden wäre.

2) Siehe Cavallo, Vollst. Abh. v. d. Elektr. 1785, 169 und Cuthbertson, Abh. v. d. Elektr. 1786, 169.

3) Vielleicht war auch das negative Glimmlicht zu ausgedehnt und deshalb zu lichtschwach.

In Luft von gewöhnlicher Dichte beobachtete die Erscheinung zuerst Nicholson 1787.[1]) Eine kleine Kugel wurde positiv elektrisirt, bis sie Büschel ausstrahlte. „Wurde die Elektrizität noch viel stärker erregt, so hörten die Blitze auf; an der Kugel zeigte sich ein Lichtkreis, der von dem Punkte ab, welcher am weitesten von dem die Kugel tragenden Stabe entfernt war, sich ringsumher ungefähr bis auf 45 Grad verbreitete; zugleich ging von der Kugel ein heftiger Wind aus."



Fig. 79.

Die Fig. 79 zeigt die Glimmentladung, wie sie sich gewöhnlich bei beträchtlicher Distanz der kugelförmigen Elektroden einer Influenzmaschine zeigt. Statt des unscheinbaren Lichtpunkts auf der Kathode ist ein grösserer Lichtpinsel gezeichnet.

Faraday, welcher diese Erscheinung zuerst eingehender untersuchte, glaubte, wegen der Trennung des negativen und positiven Lichtes, ausser der leuchtenden noch eine „dunkle" Entladung annehmen zu müssen, in welcher der Ausgleich der Kräfte in anderer Weise stattfinde, als in der leuchtenden. Er fügt allerdings hinzu:[2]) „Da nun die Luft sowohl an der positiven, als auch an der negativen Fläche geladen wird, so scheint es ein berechtigter Schluss zu sein, dass die geladenen Theilchen sich irgendwo in dem Zwischenraume treffen und sich gegenseitig entladen, ohne eine Lichterscheinung hervorzubringen.[3]) Es ist indess möglich, dass die an dem glimmenden Ende positiv elektrisirte Luft gegen die negative Fläche wandere und wirklich die Atmosphäre bilde, in welche die sichtbaren negativen Büschel hineinschiessen und dann brauchte eine dunkle Entladung nicht nothwendig stattzufinden."

Die eigenthümliche Beziehung zwischen dem Lichtpunkt auf der Kathode und dem Glimmlicht auf der Anode beobachteten zuerst Wright,[4]) Varley,[5]) und Feddersen.[6]) Letzterer, welcher mehrere Lichtpunkte an der Kathode erhielt und dementsprechend mehrere Lichtflecke auf der Anode, schreibt: „Dreht man die negative Kugel um eine in der Verbindungslinie liegende oder auch nur ihr nahe gelegene Achse, so dreht sich das ganze positive System der leuchtenden Punkte mit ihr, während es seinen Ort im Raume unverändert beibehält, wenn diejenige Kugel, worauf es sich selbst befindet, in ähnlicher Weise gedreht wird."

Das positive Glimmen ist ganz ruhig, von keinem Geräusch begleitet, dagegen stets von einem sehr fühlbaren Winde.

---

1) Siehe Gilberts Ann. **34**, 106, 1810.

2) Faraday, Experimentaluntersuchungen I, S. 443, Nr. 1550, 1838.

3) Faraday bemerkt hier nicht, dass dann Wärme auftreten müsste. Das Gesetz der Erhaltung der Energie war damals noch nicht bekannt. Vielleicht auch betrachtete er das Leuchten nicht als Wirkung der Erhitzung des Gases.

4) Wright, Sill. Journ (2) **49**, 381, 1845.

5) Varley, Proc. Roy. Soc. **19**, 236, 1871.

6) Feddersen, Pogg. Ann. Jubelbd. 1874, 465.

Sehr gut wird die Glimmentladungserscheinung erhalten, wenn einer kleinen positiven Kugel eine feine negative Spitze gegenübergestellt wird.

An der negativen Elektrode beobachtete ich nur einmal ein solches Glimmen ganz deutlich und zwar an der gewöhnlichen kugelförmigen Elektrode der Influenzmaschine unter gewöhnlichen Umständen, zum zweiten Mal konnte ich dasselbe bis jetzt nicht wieder erhalten. Es hatte fast genau das Aussehen des positiven Glimmens (Taf. II Fig. 4 rechts), unterschied sich aber von diesem (Taf. II Fig. 4 links) durch seine geringere Helligkeit und namentlich seine weit grössere Dicke. Ferner zeigte sich eine gewisse Neigung zur Zergliederung in zahlreiche Lichtpinsel.

Wurden die Elektroden der Influenzmaschine durch andere ersetzt, und zwar die positive durch eine Kugel, die negative durch eine Spitze, beide aus einem Gemenge von Graphit und Wachs gefertigt, so bildete die Glimmentladung fast die einzige Entladungsart, wenigstens wurde sie noch auf Distanzen von 2 mm erhalten. Je geringer dabei der Zwischenraum war, um so grösser wurde die Dicke des Glimmlichtes (Taf. II Fig. 7 links), und bei den geringsten Distanzen schien dieses ganz mit dem negativen Pinsel zusammenzuhängen[1]) (Taf. II Fig. 7 rechts).

Positives Glimmlicht entsteht auch bei Entladung einer negativen Spitze gegen eine Harzfläche. Ist dieselbe mit Lykopodium bestäubt, so wird der Staub durch den auftreffenden elektrischen Wind negativ elektrisch und haftet dann so stark an der (durch Influenz positiv elektrischen) Harzfläche, dass er nicht wie der übrige weggeblasen werden kann. Es entsteht also ein dem positiven Glimmlichtfleck entsprechender Staubfleck,[2]) die sogenannte „negative“ Lichtenberg'sche Figur.

Diesen Zusammenhang zwischen Lichterscheinung und Staubfigur bemerkten zuerst Reitlinger[3]) und v. Bezold.[4]) Letzterer äusserte sich: „Führt man die Versuche im dunkeln aus, so sieht man, besonders im luftverdünnten Raume, dieselben Figuren als leuchtende Erscheinungen, welche beim nachfolgenden Bepudern als Staubfiguren auftreten.“ Wohl irregeleitet durch eine verfehlte Theorie von Riess kam er indess nicht zu dem eben angegebenen Schluss bezüglich der Entstehung der Figuren, sondern glaubte, dass dieselben durch die Bewegung der Luft bedingt seien.

Sehr grosse negative Lichtenberg'sche Figuren bis zu 60 cm Durchmesser erhielt Antolik[5]) auf einer erwärmten, unten mit Stanniol bedeckten Glasscheibe.

Nach W. Holtz[6]) kann man auch mit positiver Elektrizität negative Figuren, d. h. kreisförmige Staubflecke erhalten, wenn man statt einer metallenen Spitze eine hölzerne verwendet.

---

1) O. L., Wied. Ann. **11**, 691, 1880.
2) O. L., Wied. Ann. **22**, 343, 1884 und Molekularphysik II, 303, 1889.
3) Reitlinger, Wien. Ber. **41**, 1, 538, 1879 und **43**, 531, 1882.
4) v. Bezold, Pogg. Ann. **144**, 548, 1872.
5) Antolik, Wied. Ann. **15**, 484, 1882.
6) W. Holtz, Wied. Ann. **11**, 719, 1880.

Nach Riess[1]) können solche runde Flecke mit positiver Elektrizität auch im luftverdünnten Raume erhalten werden.

Sehr scharf begrenzte und grosse Staubkreise erhielt mit beiden Elektrizitäten Kundt,[2]) als er Entladungen zwischen einer vertikalen Spitze und einer darunter horizontal angebrachten rauhen, mit Lykopodium bestäubten Metallplatte übergehen liess. Beim Abblasen blieb eine dem Glimmlicht entsprechende kreisförmige Fläche mit Staub bedeckt.

Weitere Untersuchungen über diese Kundt'sche Staubfigur haben Ewald (1876), Karras (1870), Röntgen (1874) und Schneebeli (1872) ausgeführt.

Schneebeli[3]) gelangte zu folgenden näheren Resultaten:

1. Der Radius der Staubfigur nimmt mit dem Abstande der Spitze von der Platte zu, indess nicht regelmässig.

2. Bei konstanter Entfernung wächst der Radius mit der Elektrizitätsmenge.

3. Der Radius der Staubfigur wächst mit der Feinheit der Spitze.

4. Er wächst ferner mit abnehmender Dichte der Luft.

Im Jahre 1873 habe ich selbst (auf Veranlassung von Prof. Kundt, in dessen Laboratorium) Versuche darüber gemacht, ob beim Bedecken der Metallplatte mit lichtempfindlichem Papier ein der Staubfigur entsprechendes photographisches Bild erzeugt würde, indess, vermuthlich wegen der nicht genügenden Empfindlichkeit des benutzten Chlorsilber-Papieres, ohne Erfolg.

Später hat Righi (1881 und 1882) ähnliche Versuche ausgeführt, die in der That von Erfolg begleitet waren, wodurch erwiesen scheint, dass es sich dabei thatsächlich um eine Glimmentladung an der Oberfläche der Metallplatte handelt.[4])

Die Entstehung der Kundt'schen Figuren mit beiden Elektrizitäten beweist, dass auch auf der Kathode ausgedehntes Glimmen zu erhalten ist, wenn sie nur mit einem dünnen schlechtleitenden Ueberzug (Lykopodium) versehen ist. In der That ist es Holtz (1880) gelungen, dies direkt nachzuweisen, indem er plattenförmige Elektroden mit mehreren Lagen Seidenzeug überzog.

Bei dünnen Seidenlagen auf der Hohlscheibe war es gleichgültig, welche Elektrode man positiv oder negativ machte.

„Bei 1—2facher Lage haben wir stets den Eindruck, als ob ein schwacher Lichtschein auf eine fein mattgeschliffene Glastafel fiele. Bei stärkerer Lage ist es bei negativer Fläche eher, als ob die Glastafel mit besonders grobem Sande geschliffen wäre. Ist die Seide 4—8fach, so löst sich das Licht der negativen Fläche mehr und mehr in eine grosse Anzahl einzelner Punkte auf, welche durch dunkle Zwischenräume getrennt in beständigem Wechsel des Ortes bald hier bald dort auftauchen und verschwinden. Auch auf der posi-

---

1) Riess, Reibungselektrizität II, 213, 1853.
2) Kundt, Pogg. Ann. **136**, 612, 1869.
3) Schneebeli, Fortschr. d. Physik **28**, 657, 1872 und Naturf. V, 37.
4) Vgl. auch Sieben, Berl. Ber. **25**, 395, 1889.

tiven Fläche treten wohl nach und nach eine kleinere Zahl hellere Punkte hervor, welche sich ähnlich bewegen; aber die Fläche bietet hierbei noch immer jenen ursprünglichen homogenen Lichtschimmer dar. Sehen wir genauer hin, so ergiebt sich, dass alle helleren Punkte hier wie dort mit einer schwach leuchtenden Hülle umgeben sind; aber diejenige der positiven ist unvergleichlich grösser, sie lehnt sich scheibenförmig an die noch schwächer leuchtende übrige Fläche an. Verstärken wir das Seidenzeug noch weiter, so geht nunmehr auch der positiven Fläche jener homogene Schimmer verloren; zur selbigen Zeit setzen sich an ihre helleren Punkte oder an deren Lichthüllen längere oder kürzere Büschelfäden an.

Bei Ableitung der Spitze rücken die helleren Punkte näher, bei Ableitung der Fläche rücken sie weiter von einander ab."

10. Elektrische Abbildung (Elektrographie).

Gehen von zwei verschiedenen Stellen einer Elektrode elektrische Winde aus, so vereinigen sich dieselben nicht zu einem einzigen Strome, sondern bleiben getrennt. Man kann dies z. B. erkennen bei Anwendung einer dicken Kathode aus Messing und einer ausgedehnten Glycerinfläche als Anode. Von der Kathode gehen dann gewöhnlich von zwei, drei, vier oder noch mehr Stellen, welche sich (scheinbar) in Folge gegenseitiger Abstossung der elektrischen Winde symmetrisch anordnen, Glimmentladungen aus, welchen auf der Oberfläche des Glycerins ebenso viele, durch schmale, dunkle Räume getrennte Glimmlichtscheiben entsprechen, wie Fig. 5 bis 7 Taf. II zeigt.

Der auf dem Glycerin erscheinende kreisförmige Glimmlichtnebel kann aus diesem Grunde durch mehr oder minder zahlreiche, selbst durch zwölf und mehr mit mathematischer Genauigkeit angeordnete dunkle Radien in eine entsprechende Zahl gleichbreiter Sektoren eingetheilt erscheinen.

Analoges gilt für die Ausbildung der Kundt'schen Staubfiguren bei Anwendung mehrerer Spitzen, wie Schneebeli (l. c.) beobachtete. Er schreibt: „Mehrere elastische Kreiskegel, deren Spitzen mit den Ausströmungsspitzen zusammenfallen, werden gegeneinander gepresst; ein Querschnitt durch dieselben giebt uns die entstehenden Staubfiguren."

Auch bei den von Sieben hergestellten Bildern Kundt'scher Figuren auf lichtempfindlichen Platten [1]) zeigte sich ähnliches. Eine negative Entladung erzeugte Bilder wie Figg. 80, 81 und 82, d. h. es bildete sich ein kreisförmiger, von radialen dunkeln Linien durchzogener Lichtfleck oder eine Aneinanderreihung von solchen. Zuweilen war nur eine einzige radiale dunkle Linie vorhanden.

1) Sieben, Berl. Akad. Ber. **25**, 395, 1889 und Prometheus **4**, 454, 1893.

Mehrere Elektroden liefern natürlich ähnlich zusammengesetzte Bilder, entsprechend Schneebeli's zusammengesetzten Staubfiguren und reihen sich zahlreiche Elektroden zu einer zusammenhängenden Figur aneinander, so entsteht ein Abbild dieser Figur.

So erklärt sich das Entstehen der Abbildung einer als Elektrode benutzten Münze oder andern metallischen Form[1]) Fig. 83, eine schon sehr oft beobachtete und in verschiedener Weise bezeichnete Erscheinung.[2])

Die Versuche erinnern an die bereits im Jahre 1707 gemachten Versuche von Hawksbee, welcher beim Reiben einer evakuirten Glaskugel mit der Hand auf der (geschwärzten) Innenseite der Glaskugel ein leuchtendes Abbild der Hand erhielt.

Ebenso wie in diesem Fall die Unebenheiten der Hand in dem Bild zum Ausdruck kommen, obschon diese nicht direkt Elektrode ist, sondern eine ziem-



Fig. 80.

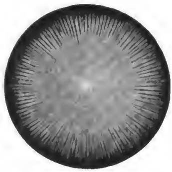


Fig. 81.

lich dicke Glasschicht sie von der Glimmlichtschicht trennt, so beobachtete man auch bei elektrographischen Versuchen, dass zwischen Hand oder Münze und photographische Platte dünne Glimmerplatten oder selbst mehrere Lagen von Guttaperchapapier zwischengeschoben werden können, ohne den Erfolg erheblich zu beeinträchtigen. Allerdings werden mit zunehmender Dicke der Zwischenschicht die Zeichnungen immer undeutlicher.

Ferner erinnern die Versuche an die von G. Karsten (1842) und Riess untersuchten elektrischen Hauchbilder. Man legt (nach Frick) auf ein Stativ

---

1) Sieben, Prometheus **4**, 459, 1896.

2) Rood, Pogg. Ann. **117**, 595, 1862 nennt das Verfahren „Elektrographie“, Tommasi, C. R. **102**, 677, 1886 „Effluviographie“. Vgl. ferner: Boudet, Beibl. **10**, 428 und 734, 1886; J. Brown, Phil. Mag. (5) **26**, 502, 1888; Trouvelot, C. R. **107**, 784, 1888 und **108**, 346, 1889; E. v. Gotthard, Beibl. **13**, 422, 1889; Latschinow, Beibl. **13**, 244, 1889; v. Narkiewicz-Jodko, Vorträge in Wien und Berlin, 1890; Nürnberg, Photogr. Mitth. **33**, 160, 1891; Fred. J. Smith, Rep. Brit. Assoc. Edinb. 1892, 644 und Beibl. **17**, 1103, 1893 (nennt die Erscheinung „Inductoscript“); Campbell Swinton, Rep. Brit. Soc. Edinb. 1892, 641; Sanford, Beibl. **19**, 97, 1895; Rowland, Nature **53**, 340, 1896; Centralzeitung f. Opt. u. Mech. **17**, 209, 1896; Friedländer, Beibl. **21**,5 1, 1896. H. Pflaum, Phys. Kleinigkeiten (sechs Tafeln, 1897).

eine Münze, darauf ein Stück gewöhnliches, sauber abgewischtes Fensterglas und auf dieses eine zweite Münze, so dass also die beiden Münzen gleichsam die Belege einer Franklin'schen Tafel bilden.

An die untere Münze schiebt man einen am Ende in einen Ring gebogenen Draht, der gegen die obere umgebogen wird, so dass sein Ring noch etwa 2 bis 3 mm Abstand von der Münze hat. Das Stativ stellt man unter den Konduktor der Elektrisirmaschine, und lässt von diesem eine Kette auf die Münze herabhängen. Wird die Maschine gedreht, so folgen rasch nacheinander Selbstentladungen des kleinen Apparates; nach einigen Hundert derselben nimmt man ihn auseinander, und die beiden Münzen zeigen sich beim Behauchen des Glases auf demselben abgebildet. Man sieht diese Bilder nach



Fig. 82.



Fig. 83.

öfterem Abwischen manchmal nach vielen Monaten noch auf dem Glase, wenn es wieder behaucht wird.

Man kann hierbei auch so verfahren, dass man zwei Glasplatten bis gegen den Rand hin auf einer Seite mit Stanniol belegt, dann zwischen beide eine aus Papier geschnittene Figur legt und nun einige Zeit elektrisirt.

Nach Quincke (1877) gelingt die Erzeugung der Hauchbilder besonders leicht auf einer frisch geschmolzenen Pechplatte mit einer durch den Schmelzprozess frisch hergestellten, möglichst reinen Oberfläche.

Statt mit dem Wasserdampfe des Hauches lassen sich diese elektrischen Hauchbilder auch mit Quecksilberdampf oder Joddampf erzeugen, von welchen wenigstens ersterer ebenfalls linsenförmige Tröpfchen mit verschiedenem Randwinkel bildet.

Hat man einen elektrischen Funken über die Oberfläche einer Glas-, Glimmer- oder Metallplatte gehen lassen, so wird die adhärirende Schicht an den von der Entladung berührten Stellen so gut wie vollständig entfernt. Bei dem Behauchen wird dann das kondensirte Wasser keine linsenförmigen Tropfen

mehr bilden, sondern sich ausbreiten zu einer zusammenhängenden Schicht; die vom Funken getroffene Stelle erscheint blank auf mattem Grunde und bildet die elektrische Hauchfigur.

Eine bekannte, insbesondere von Hagen bei Beschreibung der von ihm verbesserten Töpler'schen Luftpumpe erwähnte Erscheinung ist das Entfernen der selbst im Vakuum an den Glaswänden haftenden Gasschichten beim Durchgehen elektrischer Entladungen.

Ferner dürften auch Ablagerungen auf der Glasfläche in Folge der Entladung eine Rolle spielen. Man kann in der That direkt sichtbare Ablagerungsbilder erhalten.

Morren belegt zu diesem Zwecke eine Glasplatte auf der einen Seite mit Stanniol, legt sie so, dass diese Seite nach unten kommt, auf den Tisch, legt alsdann ein mit Dextrin bestrichenes Blatt Papier darauf und auf dieses den abzubildenden, zuvor mit Graphit bestrichenen Gegenstand. Es genügt schon, eine Leydener Flasche zu nähern, um einen Abdruck zu erhalten.

Anstatt durch Anhauchen lassen sich die elektrischen Hauchbilder nach K. Tschechowitsch auch dadurch fixiren, dass man das Glas mit einer verdünnten Lösung von Stearin mit gelbem Quecksilberoxyd, Zinnoxyd u. dergl. in Benzin übergiesst.[2])

J. Friedländer[3]) stellte elektrographische Figuren auf photographischen Platten her, welche durch Uebergiessen von Gypskrystallen mit Bromsilbergelatine erhalten waren. Statt der kreisförmigen Figuren bildeten sich dann Ellipsen. Dies entspricht einem älteren Versuchsergebniss von v. Sénarmont,[4]) welcher die Entladungen im Vakuum längs einer Krystalloberfläche gleiten liess, wobei ein auf die Fläche aufgelegter Stanniolring und eine Spitze im Centrum desselben als Elektroden dienten. Das Glimmlicht breitete sich dann nicht nach allen Richtungen gleichmässig aus, sondern bildete entsprechend den Differenzen des Leitungsvermögens eine elliptische Figur.

II. Elektrische Schatten.

Hält man zwischen die Elektroden einen beliebigen fremden Körper, am besten einen abgeleiteten Leiter, so entsteht auf dem positiven Glimmen ein Schatten[5]) desselben, ungefähr entsprechend den Vertheilungslinien (Fig. 84).

---

1) Vgl. G. Wiedemann, Elektrizität **4**, 762.
2) K. Tschechowitsch, Beibl. **11**, 740, 1887.
3) J. Friedländer, Beibl. **21**, 51, 1896.
4) v. Sénarmont, Compt. rend. **29**, 750, 1849.
5) Vgl. O. L., Wied. Ann. **11**, 688, 1880. Hierher gehört auch die Beobachtung von M. Busch, Gartenlaube 1877, S. 669.

Es erklärt sich dies dadurch, dass die elektrisirte Luft auf ihrem Wege zur Anode aufgehalten wird. Der Schatten verschwindet deshalb in dem Maasse, als der Körper Ladung annimmt und seine Dauer ist somit abhängig von der Kapazität des Körpers.[1])



Fig. 84.

Die Bildung solcher Schatten wurde zuerst von Wright[2]) beobachtet. Derselbe konstatirte auch bereits, dass der Schatten kein optischer ist und selbst dann erscheint, wenn der schattenwerfende Körper sich nicht in der Richtung der Verbindungslinie befindet.

C. F. Varley[3]) beobachtete Schatten von auf die Kathode geklebten Wachsstückchen.

Schneebeli[4]) fand bei Erzeugung der Kundt'schen Staubfiguren, dass, wenn man zwischen Spitze und Platte eine kleine Glasscheibe bringt, in dem Staubkreise eine von Staub freie Figur entsteht, die genau die Gestalt der Scheibe hat. Die Grösse dieser staubfreien Fläche variirte bei sonst ungeänderten Verhältnissen mit der Lage der Glasscheibe zwischen Spitze und Fläche.

Einige Versuche stellte ich selbst im Jahre 1880 an. Dabei ergab sich, dass, wenn man dicht vor die negative Elektrode eine grosse runde Ebonitscheibe setzt, der Schatten auszubleiben scheint. Derselbe wird indess sofort wieder bemerkbar, wenn diese Scheibe exzentrisch gestellt wird.[5])

W. Holtz (1880) stellte einer mit Seide bedeckten blechernen Hohlscheibe eine Spitze in 6—15 cm Entfernung gegenüber. Die Scheibe bedeckte sich innerhalb eines Kreises mit schwach leuchtendem, nur im vollkommen dunkeln Zimmer wahrnehmbaren Glimmlicht. Wurde ein Körper zwischen Spitze und Platte gebracht, so erschien ein sehr vollkommen ausgebildeter Schatten desselben auf der glimmenden Fläche (Figg. 85 und 86). Er berichtet darüber:

„Einen Schatten werfen nur leitende Körper, wobei sich Halbleiter und gute Leiter wenig zu unterscheiden scheinen. Wirkliche Isolatoren dagegen bei geringerer Ausdehnung beschatten gar nicht; bei grösserer wohl im Anfange der Einwirkung, während sich bei längerer Einwirkung die Schattenbildung allmählich verliert. Es macht kaum einen Unterschied, ob leitende Körper abgeleitet oder isolirt gehalten werden.

Ist der schattenwerfende Körper isolirt, so tritt die aufgenommene negative Elektrizität an irgend einem Punkte in Form eines kleinen Lichtpinsels wieder aus, welcher auf der Anode eine entsprechende kleine Glimmlichtscheibe erzeugt.

1) Nicht von der Dielektrizitätskonstante, wie Quincke, Sitzb. d. Berl. Akad. **28**. 525, 1895 anzunehmen geneigt ist.

2) Wright, Sill. J. (2) **49**, 381, 1845.

3) C. F. Varley, Proc. Roy. Soc. **19**, 236, 1871.

4) Schneebeli, Fortschritte d. Ph. **28**, 657, 1872.

5) Vgl. auch Fine und Magie (Sill. J. (3) **21**, 394, 1881). Hiernach hatte auch C. A. Young schon früher solche Schatten gesehen.

Eine Messingkugel z. B. kann einen ringförmigen Schatten erzeugen, wobei das innere helle Feld das sekundäre, das äussere das primäre Glimmlicht ist."

Bezüglich aller Körper gilt die Bemerkung, dass sich bei ihrer Einführung das Beobachtungsfeld zu erweitern pflegt und zwar in dem Maasse mehr, einen je grösseren Theil des (unsichtbaren) Strahlenkegels sie verdecken.

Das Schattenbild wird grösser oder kleiner, je nachdem man den Körper der Spitze oder der seidenen Fläche nähert.

Die Dimensionen des Bildes sind gleichzeitig durch die mehr oder weniger zentrale Lage des Körpers bedingt. Sie wachsen, wenn man denselben seitlich aus seiner zentralen Lage verschiebt. Ein längerer Streifen von überall gleicher Breite wirft demnach ein Schattenbild, welches sich nach dem Zentrum des Beobachtungsfeldes hin verjüngt.

Wird die Umdrehungszahl der Influenzmaschine grösser, so wächst der Durchmesser der glimmenden Fläche, die Schatten werden dagegen kleiner.



Fig. 85.



Fig. 86.

Die Ausdehnung des Schattens ist auch von der Dicke des Körpers abhängig. So wirft ein Streifen Karton nahezu gleichbreiten Schatten, ob er die breite Seite oder die Kante der Spitze zukehrt. Ebenso eine Kugel und ein axial gelagertes Stückchen Draht.

Die Schatten bilden endlich nicht ein genaues Abbild der Umrisse des Körpers, sondern sämmtliche Ecken erscheinen abgerundet.

Ein Körper wirft stets einen Schatten, welcher die Grösse desselben übertrifft, während eine Oeffnung im Allgemeinen ein verkleinertes Bild erzeugt. Jedenfalls ist bei gleicher Entfernung von der Spitze das Bild eines Körpers stets grösser als dasjenige einer Oeffnung von gleichen Konturen.

Der Schatten eines Körpers vergrössert sich, wenn man den Körper nach aussen schiebt, während sich das Bild einer Oeffnung bei gleicher Verschiebung verkleinert.

Verdreht man Körper oder Oeffnung bei sonst zentraler Stellung so, dass ihre wirksamen Konturen zur Fläche der Hohlscheibe schräge stehen, so tritt bei beiden Bildern eine eigenthümliche, aber wieder entgegengesetzte Verzerrung ein. Die der Scheibe näheren Theile erscheinen im Schattenbilde ebensoviel

verstärkt, als die ferneren verjüngt erscheinen, während sich im Lichtbilde dort eine Verjüngung und hier eine Verstärkung bemerkbar macht.

Dagegen harmoniren beide Bilder in zwei Punkten: einmal darin, dass sie grösser werden, wenn das ganze Objekt der Spitze genähert wird, ferner darin, dass bei eben dieser Annäherung zugleich ihre charakteristischen Unterschiede wachsen.

Ueber den Einfluss der Verdünnung auf Schatten bemerkt Holtz:

„Schon bei geringer Verdünnung liess es sich nicht verkennen, dass die negative Fläche sehr wesentlich an Helligkeit verloren hatte. Bei 108 mm Quecksilberhöhe wurde dieselbe schon so lichtschwach, dass die Umrisse des Schattens nur mit Mühe zu verfolgen waren. Hierzu trug indessen eine doppelte Ursache bei. Erstens sonderten sich die einzelnen Lichtpunkte, wie bei sehr dicker Seidenlage, immer weiter von einander ab. Dann bildete sich am Scheibenrande ein bevorzugter Ausstrahlungspunkt, eine Art Büschel, welcher den grösseren Theil der Entladung absorbirte. Bei 55 mm herrschten neben letzterem nur noch wenig Glimmlichtpunkte vor. Bei 27 mm war alles dunkel mit Ausnahme jenes einzigen Punktes. Ganz anders die positive Fläche. Sie behielt bis zur Verdünnung bis auf 14 mm ihre volle Helligkeit bei, oder wurde gar, wie mir schien, innerhalb gewisser Grenzen heller, als sie bei gewöhnlichem Luftdrucke war. Bei 14 mm begann auch hier eine Abnahme des Lichtes, die nun schnell wuchs, so weit ich sie überhaupt verfolgen konnte. Hierbei stellte sich namentlich bei 10 mm, der äussersten Grenze der noch erreichbaren Verdünnung, eine merkwürdige Erscheinung ein. Einzelne Lichtpunkte liefen, besonders zu Anfang der Elektrisirung, in grossen schlangenförmigen Kurven auf der Fläche hin und her, was mich besonders interessirte, weil ich ähnliche Bewegungen bei der Elektrisirung gewisser Körper in isolirenden Flüssigkeiten gefunden hatte.

Fast umgekehrt verhielt es sich mit dem Schatten. Auf negativer Fläche blieb derselbe unverändert, so lange er überhaupt zu erkennen war, oder nahm wohl gar im Ganzen wie in seinen peripherischen Verstärkungen allmählich etwas zu. Auf positiver Fläche aber nahm er zusehends ab, sowohl im Ganzen als speziell bezüglich der eben gedachten Form. Bei gewisser Verdünnung präsentirte sich bei beiden Elektrizitäten genau das umgekehrte Bild als in gewöhnlicher Luft. Bei 55 mm war die positive Fläche schon ganz hell mit Ausnahme von vier peripherischen Stellen. Bei 27 mm schwanden auch diese, und die Fläche blieb, so weit ich es verfolgen konnte, auch ferner schattenfrei.

Stellt man bei gewöhnlicher Darstellung der Schattenbilder die zugespitzte Entladungsstange schräger, so wird die leuchtende Fläche abgelenkt und das Schattenbild dementsprechend verzerrt.

Es ist fast gleichgültig, ob der schattengebende Körper abgeleitet ist oder nicht. Isolirende Körper dagegen werfen im Allgemeinen keinen Schatten.[1])

1) W. Holtz, Beibl. 5, 148, 1881 und Gött. Nachr. 1881, 80 und Quincke, Sitzb. d. Berl. Akad. 28, 525, 1895.

Wendet man statt der Spitze eine Kugel an, so werden die Erscheinungen weniger deutlich; indess ist zu beachten, dass in diesem Fall nicht nur auf der Seidenfläche, sondern auch auf der glimmenden Kugel Schatten auftreten; auf letzterer freilich nur sehr kleine.

Da ein kräftiger Luftstoss aus einem Blasebalg das Schattenbild verschiebt, und da Isolatoren nur bis zu einem gewissen Grade schattenlos sind, so muss angenommen werden, dass die Elektrizitätsbewegung an die Bewegung der Luftmoleküle gebunden ist."

Die Verzerrungen am Rande glaubt Holtz durch langsamere Bewegung der elektrischen Luft daselbst erklären zu können.

Auch bei Lichtenberg'schen Figuren kann man nach W. Holtz[1]) elektrische Schatten erhalten. „Dies gelingt bei beiden Elektrizitäten mit gleichem Erfolge, wenn man kleine Entladungen auf einen zugespitzten Halbleiter wirken lässt, weil man solchergestalt die mehr zur Büschelbildung geneigte positive Elektrizität gleichfalls zur Glimmentladung zwingt."

Dieselbe Beobachtung machten Righi[2]) und Antolik.[3])

Righi (1881 und 1882) konnte durch Anwendung lichtempfindlicher Platten die Schattenbilder von zwischen Spitze und Platte gehaltenen Körpern deutlich fixiren, und zwar entstanden zwei sich überdeckende Bilder, eines bedingt durch das von der glimmenden Spitze ausgestrahlte Licht, das andere bedingt durch das Glimmen an der Oberfläche der Platte selbst. Ersteres stellte den optischen, letzteres den elektrischen Schatten dar.

Righi (1881) beschreibt ferner folgende Versuche: „Eine vertikale, nach unten gerichtete und isolirte Spitze ist gegen eine horizontale Messingscheibe gewendet, worauf eine Ebonitplatte liegt. Zwischen der Spitze und der Scheibe liegt der Gegenstand, welcher beschatten soll. Gewöhnlich brauchte ich zu diesem Zwecke eine Art Kreuz, welches aus einer starken Messingplatte geschnitten war und abgestumpfte Kanten hatte. Setzt man die äussere Belegung einer kleinen geladenen Leydener Flasche mit der von der Ebonitplatte bedeckten Messingscheibe in Verbindung und berührt man den spitzenförmigen Leiter mit dem Knopfe der inneren Belegung, so erzeugt man eine stumme Entladung zwischen der Spitze und der Ebonitscheibe. Indem man auf die Ebonitscheibe, ohne sie von der Messingplatte zu heben, das Lichtenberg'sche Pulver wirft, bedeckt dasselbe die Stelle des Schattens. Wenn z. B. die Spitze die positive Elektrizität empfängt, wird der Schatten durch die Mennige gebildet und ist zuerst von einer neutralen Zone, nachher von einem gelben Schwefelgrunde umgeben. Bei negativer Spitze umgekehrt."

Ein anderer Versuch ist dieser:

„Man streut auf die Messingscheibe eine schwache Schicht metallischen Feilstaubes oder auch ungetrockneten Glasstaubes und setzt die Platte, sowie

1) W. Holtz, Beibl. 5, 150, 1881.

2) Righi, Beibl. 5, 901, 1881

3) Antolik, Wied. Ann. 15, 484, 1882.

die Spitze mit den Elektroden einer Holtz'schen Maschine in Verbindung. Sowie man die Maschine in Bewegung setzt, sieht man, dass die Platte den Staub abstösst und an der Stelle des Schattens ganz frei wird, während der Staub ringsumher nur ein wenig in die Höhe hüpft. Jedes Theilchen wird sogleich von der elektrisirten Luft berührt, welche ihm die Elektricität entzieht, die dasselbe von der Platte genommen hatte und ihm dagegen die entgegengesetzte Elektrizität giebt. Wenn man die Maschine anhält, erscheint der Schatten, welcher von dem staublosen Theile der Scheibe gebildet ist. — Diesen Schatten kann man auch auf einem Pappendeckel erhalten, welcher auf die Messingscheibe gelegt ist. In diesem Falle ist es leicht, durch Aufblasen einer Schellacklösung mittelst eines Zerstäubers die Figur auf dem Pappendeckel zu fixiren."

Elektrisirte Körper werfen grössere oder kleinere Schatten, je nachdem die Ladung gleichnamig oder ungleichnamig ist mit der der Spitze. „Ein elektrisirter Körper, welcher dem von der Spitze ausgehenden Strome elektrisirter Moleküle genähert wird, bringt in sehr deutlicher Weise eine Verschiebung und Verzerrung des Schattens hervor, welche beide eine elektrische Einwirkung zwischen dem elektrisirten Körper und den Luftmolekülen offenbaren."

„Mit zwei Spitzen und zwei Kreuzen kann man auf derselben Platte zwei Schatten erhalten. Die Schatten sind einander mehr genähert oder entfernt, als wenn sie einzeln erzeugt worden wären, je nachdem die Spitzen dieselbe oder die entgegengesetzte Elektrizität empfangen. Die Verschiebung ist natürlich von einer gewissen Verzerrung begleitet." [1])

Piltchikoff[2]) beobachtete die Bildung der Schatten auch bei den bereits oben erwähnten[3]) Depressionen isolirender Flüssigkeiten unter glimmenden Spitzen. Denselben entsprachen nicht deprimirte Stellen der Flüssigkeitsoberfläche.

Nach R. Butel (1862) zeigt sich die Schattenbildung auch durch Verhinderung der Ozonbildung an den beschatteten Stellen, nach R. v. Helmholtz ferner auch durch den Mangel der Einwirkung auf einen Dampfstrahl, worüber später noch berichtet werden soll.[4])

Im elektrischen Ei beobachtete ich die Bildung von Schatten selbst beim Durchgang verhältnissmässig starker Ströme eines Hochspannungsakkumulators.[5])

Als Kathode diente ein Messingsstab, als Anode eine Messingschale. Zwischen beide wurde, an einem Asbeststreifen aufgehängt, ein Stück Eisenblech gebracht. Es erschien ein scharfer Schatten desselben auf der die Innenwand der Schale überziehenden rothen Glimmlichtschicht, wie Taf. III Fig. 11 andeutet.

Kehrte man den Strom um, so erschien der Schatten auf der Messingstange, indess weit weniger deutlich.

---

1) Aehnliche Figuren hat auch Smith (1884) erzeugt.
2) Piltchikoff, C. R. 118, 631, 1894.
3) Vgl. S. 74 und auch G. Wiedemann, Elektr. 4, 620 u. ff.
4) R. v. Helmholtz, Wied. Ann. 32, 3, 1887.
5) O. L., Zeitschr. f. Elektrochemie. II, 463, 1896.

Auf dem negativen Glimmlicht ist im Vakuum der Schatten, vermuthlich wegen einer im dunkeln Kathodenraume auftretenden Störung, nicht zu erhalten.

Die erste zutreffende Erklärung der Schattenbildung gab Riess.[1]) Nach ihm finden die elektrischen Schatten ihre Erklärung darin, dass eine elektrische Fläche nur da leuchtet, wo sie von einem entgegengesetzt elektrischen Luftstrom getroffen wird. „An den Stellen also, wo dieser Luftstrom entladen worden (durch einen in ihn gestellten Körper, den Zwischenkörper, wenn er leitend ist), leuchtet die Fläche nicht, es entsteht auf ihr der Schatten, dessen Form von der des Zwischenkörpers und von der entladenden Luftmenge bestimmt wird. Ist der Luftstrom nicht entladen, sondern nur abgelenkt durch einen nichtleitenden Zwischenkörper, so entsteht kein Schatten, weil der abgelenkte Strom durch Abstossung von dem stehengebliebenen Theile des Stromes in seine frühere Richtung zurückgebracht ist. Diese Abstossung wird, wie folgt, augenfällig gemacht. Bei schwach wirkender Maschine wirft ein schmaler nichtleitender Zwischenkörper einen Schatten, der bei stärker wirkender Maschine verschwindet. Die ungenügende elektrische Dichtigkeit des Luftstroms und damit die Abstossung seines abgelenkten Theils ist hier vergrössert und dadurch fähig gemacht worden, den Luftstrom völlig in seine frühere Richtung zu bringen. Die Schattenlosigkeit verlangt, dass der Zwischenkörper nur schmal sei, damit die abgelenkte Luftmenge kleiner sei als die stehengebliebene.

Der Umstand, dass ein leitender Streifen als Zwischenkörper fast denselben Schatten wirft, er mag seine Kante oder seine Fläche dem Luftstrome zukehren, lehrt nach Holtz[2]), dass in beiden Fällen eine fast gleiche Luftmenge entladen wird und dies zeigt, dass von einem elektrischen Luftstrome ein desto grösserer Theil entladen wird, je kleiner der Winkel ist, mit dem er auf die Fläche des Zwischenkörpers auffällt. Bei der dem Luftstrome zugekehrten Kante kommt eine kleinere Menge Luft mit den Flächen des Zwischenkörpers in Berührung als bei zugekehrter Fläche, wird aber viel vollständiger entladen, weil ihr Auffallswinkel sehr klein ist.

„Diese Abhängigkeit der Entladung von dem Auffallswinkel erklärt noch die seltsame Anschwellung des Schattens an den beiden Enden eines leitenden Streifens (l. c. 610), dessen Mitte von dem kegelförmigen elektrischen Luftstrome normal getroffen wird. An den Enden fällt der Luftstrom unter einem kleineren Winkel auf und wird daher vollständiger entladen, als an jeder der Mitte näheren Stelle.

Diese Anschwellung giebt den Grund, weshalb ein Schlitz, der mit durchweg gleicher Breite in eine Kartonscheibe geschnitten ist, wenn man ihn in den elektrischen Luftstrom stellt, auf der leuchtenden Fläche mit verdünnten Enden erscheint."

---

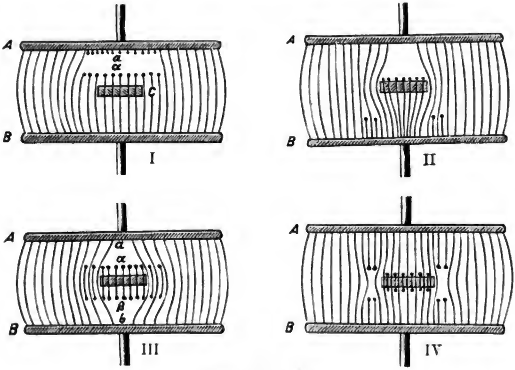
1) Riess, Wied. Ann. **17**, 901, 1882.
2) Holtz, Gött. Nachr. p. 551, 1880.

12. Stromlinien des elektrischen Windes.

Die Bildung der elektrischen Schatten scheint die Vorstellung über das Wesen des elektrischen Windes, die wir uns gebildet haben, zu stützen.

Es seien z. B. zwei plattenförmige Elektroden *A* u. *B* (Fig. 87 I) gegeben. Scheidet ein Flächenstück *a* auf *A*, an welchem für einen Moment Glimmentladung eintreten möge, eine elektrische Luftschicht *α* ab, welche sich gegen *B* zu bewegt, so muss, wenn sich in deren Bahn ein Hinderniss *C* befindet, ein Schatten desselben auf *B* entstehen, wie Fig. 87 II andeutet.

Kommt *α* bei *B* an und erregt dort Glimmentladung, so wird diese nicht sofort erlöschen, wenn die Elektrisirung von *α* neutralisirt ist, vielmehr wird,



Figg. 87 I—IV.

weil durch die Erhitzung und chemische Veränderung der Entladungsgradient daselbst erniedrigt ist, nunmehr auch auf der getroffenen Fläche *b* auf *B* (Fig. 87 III) Entladung eintreten, es wird also eine elektrische Luftschicht *β* in umgekehrter Richtung wie *α* gegen *A* hin fortschreiten und nun auch auf *A* einen Schatten von *C* erzeugen (Fig. 87 IV).

Dann mag sich das Spiel wiederholen und wir werden somit erwarten können, falls die Entladungen mit genügender Schnelligkeit auf einander folgen, sowohl auf *A*, wie auf *B* scheinbar stetig, glimmende Flächen zu erhalten, welche beide einen Schatten von *C* aufweisen.

In Wirklichkeit ist dies auch der Fall, indess ist der Vorgang wesentlich komplizirter als soeben angenommen wurde, wenn auch an sich nicht ausgeschlossen ist, dass auch derartige relativ langsam pulsirende Entladungen vorkommen können.

Beobachtet man das Glimmlicht im Drehspiegel, so lassen sich unter gewöhnlichen Umständen keine Intermittenzen erkennen, wenn also auch solche wirklich vorhanden sind, so können sie keineswegs den Zeiten entsprechen, die das Wandern der Luftschichten α und β zwischen den beiden Elektroden in Anspruch nimmt.

Wir müssen vielmehr annehmen, dass kontinuirlich von *a* und *b* elektrisirte Luftströme ausgehen und diese sich durchdringen, ohne sich gegenseitig zu stören, denn sonst wäre das ungestörte Auftreten der Schatten auf *A* und *B* unmöglich.

Die Fig. 88 deutet das Auftreten der Schatten zwischen zwei mit Seidenzeug überzogenen Holzscheiben an, wie ich es mittelst der 60 scheibigen Leunerschen Hochdruckinfluenzmaschine erhielt.[1])

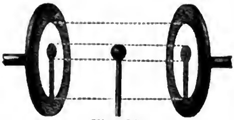


Fig. 88.

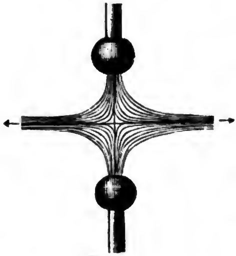


Fig. 89.



Fig. 90.

Es sei noch erwähnt, dass die beiden Glimmlichtschichten in ähnlicher Weise gewissermaassen wie durch unsichtbare Fäden miteinander verbunden erscheinen, wie dies auch bei der einfachen Glimmlichtschicht und dem entsprechenden negativen Lichtpinsel schon früher beobachtet worden war, so nämlich, dass sich beim Drehen der einen Elektrode um ihre Achse die Glimmlichtschicht auf der anderen Elektrode mitzudrehen scheint. Der Grund dafür ist zu suchen in ungleichmässiger Beschaffenheit der Elektrodenoberfläche, welche dadurch zum Ausdruck kommt, dass jede Glimmlichtschicht ein verzerrtes Abbild der Unregelmässigkeiten der gegenüberstehenden Elektrodenoberfläche darstellt.

Der Durchmesser der Glimmlichtflächen ist ausser vom Abstand der Elektroden wesentlich abhängig von der Wirksamkeit der Maschine. Bei Anwendung einer gewöhnlichen Influenzmaschine war er nur etwa $^1/_{10}$—$^1/_6$ von dem bei Anwendung der grossen Hochdruckinfluenzmaschine.

Während also zwei gewöhnliche entgegengesetzte Luftströme beim Zusammenstossen sich gegenseitig den hydrodynamischen Gesetzen entsprechend ablenken, etwa gemäss Fig. 89, so können elektrische Ströme in einer gegebenen Stromröhre (Fig. 90) gleichzeitig nach beiden Richtungen sich bewegen, ohne sich gegenseitig im Geringsten zu stören. Natürlich kann in solchem Falle

1) O. L., Wied. Ann. 44, 642, 1891.

ein eigentlicher elektrischer Wind, d. h. eine durch die Bewegung der elektrisirten Luft veranlasste mechanische Bewegung der Luft, nicht mehr zu Stande kommen. Die entgegengesetzten Bewegungsantriebe heben sich vollständig auf. Trotzdem ist aber eine Bewegung entgegengesetzt elektrischer Lufttheilchen vorhanden, die wir nur wahrnehmen könnten, wenn wir die einzelnen Luftmolekulen sehen könnten.

Dass überhaupt elektrischer Wind unter Umständen wahrnehmbar ist, auch wenn sich glimmende Elektroden nahe gegenüberstehen, ist darauf zurückzuführen, dass die Stromlinien der beiden entgegengesetzten Strömungen nicht wie bei der Elektrolyse allenthalben zusammenfallen, weil die Entladung nicht wie der elektrolytische Leitungsstrom von der ganzen Oberfläche der Elektroden ausgeht, sondern nur von einem durch die Grösse des Entladungsgradienten bedingten beschränkten Gebiet, so dass bezüglich der Wanderung der elektrischen Theilchen nicht nur das Kontraktionsbestreben der Kraftlinien zur Geltung kommt, sondern auch deren gegenseitiger Druck, sowie der Widerstand der Luft. Es kann deshalb vorkommen, dass an einer Elektrode der eine Strom von einer nahezu punktförmigen Stelle ausgeht, während der Gegenstrom von einer sehr ausgedehnten Fläche aufgenommen wird (Fig. 91). In diesem Falle wird der vorherrschende elektrische Wind die Richtung des ersten Stromes haben und von dem glimmenden Punkte ausgehen. Ringsherum wird sich eine schwache Gegenströmung bemerkbar machen.

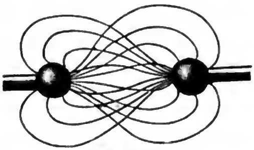


Fig. 91.

Abgesehen von diesen mechanischen Strömungen erscheint somit die elektrische Konvektion vollständig vergleichbar der elektrolytischen Leitung, wobei den neueren Vorstellungen gemäss ebenfalls ein Wandern freier elektrischer Atome (Ionen) in einer grösseren Flüssigkeitsmasse angenommen wird und ebenfalls zwei gleich intensive Strömungen nach entgegengesetzten Seiten, deren Bewegungsantriebe auf die Flüssigkeit als Ganzes (trotz der beträchtlichen Grösse der Kräfte) sich gegenseitig aufheben, so dass die Flüssigkeit in Ruhe bleibt.

Man kann deshalb bis zu gewissem Grade von konvektiver Entladung durchsetzte Luftstrecken ebenso wie Flüssigkeitswiderstände benutzen und kann aus dem elektrischen Winde Ströme abzweigen, wie aus einem vom Strome durchflossenen Elektrolyten.

Dieser Vorstellung gemäss habe ich bereits bei meinen ersten Versuchen[1]) von Luftstrecken als Abzweigwiderständen Gebrauch gemacht, wie die (einen mikroskopischen Entladungsapparat darstellende) Fig. 92 erkennen lässt.

Von der Elektrizitätsquelle gelangte der Strom zunächst zu den rechts und links stehenden festen Spitzen, zwischen welchen direkt oder durch

1) O. L., Wied. Ann. 11, 696, 1880.

Vermittelung der Tischfläche stetige konvektive Entladung eintrat. Aus diesem unsichtbaren Strome in der Luft wurde durch den in zwei verschiebbare Spitzen endigenden Entladungsapparat soviel Strom abgezweigt, wie für den betreffenden Versuch gerade nöthig war. Unter Umständen wurden auch die Spitzen durch Flammen ersetzt.[1])

Borgmann[2]) (1886) benutzte ein ähnliches System von vier Flammen, um durch eingeschaltete Galvanometer zu zeigen, dass ein solcher durch zwei Luftstrecken mit Flammenelektroden unterbrochener Stromkreis dennoch als geschlossener zu betrachten sei, da die Galvanometer alle denselben Strom angaben. Wurde zwischen die Flammen ein isolirter Schirm eingeschoben, so verminderte sich die Stromintensität um 1,45 Mal für Glas und 1,25 Mal für Metall. Ein abgeleiteter Metallschirm schwächte die Galvanometerablenkung sehr beträchtlich.

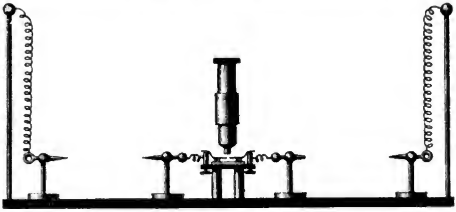


Fig. 92.

Eine zwischen zwei Flammen aufgestellte Magnetnadel wurde ebenso abgelenkt, wie durch einen Strom in metallischem Leiter.

Durch Hinzunahme weiterer Flammen kann man aus der Luft Zweigströme ableiten. Als Elektrizitätsquelle diente gewöhnlich eine Influenzmaschine, doch zeigten sich die Ströme schon bei Anwendung einer 120paarigen Kupfer-Zink-Wassersäule.

Bei Anwendung eines Induktionsapparates kann man das Galvanometer durch ein Telephon ersetzen. Mit einem zur Erde abgeleiteten Telephon, dessen isolirter Pol mit einer spitzenbesetzten leitenden Platte von 1,42 m Oberfläche verbunden ist, kann man noch bei 11 und mehr Meter Entfernung von der Flamme Ströme abzweigen und hörbar machen.

Asperèn[3]) macht darauf aufmerksam, dass man mittelst einer Sonde die Niveauflächen im elektrischen Wind bestimmen kann.

---

1) Zur Erzeugung konstanter Spannungsdifferenz benutzte Precht, Wied. Ann. **49**, 179, 1893, einen Nebenschluss, bestehend aus zwei in veränderlichem Abstand befindlichen Spitzen.

2) J. Borgmann, Russ. phys. chem. Ges. (7) **18**, 1886; Beibl. **11**, 63, 369, 1887, **12**, 393, 1888.

3) Asperèn, Beibl. **13**, 563, 1888.

13. Unterschied von elektrischem und gewöhnlichem Wind.

Von einem gewöhnlichen Luftstrom unterscheidet sich nach dem Gesagten der elektrische Wind sehr wesentlich dadurch, dass er nicht allein in Folge der Trägheit oder eine von aussen kommende Stoss- und Druckwirkung, sondern getrieben durch eine in ihm selbst liegende Kraft fortschreitet. Dieser Unterschied macht sich z. B. in auffälliger Weise geltend bei Durchkreuzung mit einem gewöhnlichen Luftstrom.

Kreuzen sich zwei gewöhnliche Luftströme (Fig. 93), von welchen der vertikale der schwächere sein möge, so tritt nach dem Kräfteparallelogramm

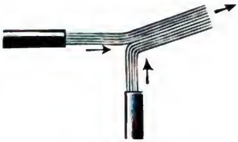


Fig. 93.

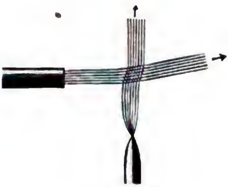


Fig. 94.

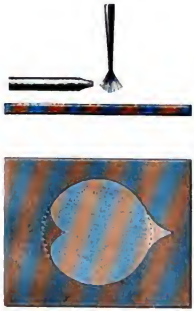


Fig. 95.

eine Ablenkung beider, namentlich aber des letzteren, ein, so dass dieser nahezu die Richtung des stärkeren annimmt.

Ist aber der vertikale Strom, wie Fig. 94 andeutet, elektrischer Wind, so wird er, selbst bei grösster Stärke des horizontalen Stromes, nur unmerklich seitlich abgelenkt und setzt dann seine Bahn den Kraftlinien des elektrischen Feldes folgend fort, als ob nicht die geringste Störung eingetreten wäre.[1]

Um dies nachzuweisen, habe ich versucht, ob es möglich ist, durch Ablenkung des elektrischen Windes mit Hülfe eines Luftstroms die Entladung zu stören oder nicht und zwar in dem speziellen Falle der Kundt'schen Staubfigur.

1) Gleiches gilt für den Leitungsstrom in Elektrolyten. Winkler in Leipzig war wohl der Erste, welcher (im Jahre 1747) einen Versuch machte zur Ermittelung, ob die Leitung der Elektrizität im Wasser durch entgegengesetzte (richtiger zu den Stromlinien senkrechte) Strömung des Wassers gestört würde (siehe Cuthbertson, Abh. S. 73).

Befestigt man senkrecht über einer mit Lycopodium bestreuten Metallplatte eine isolirte Spitze und erzeugt zwischen derselben und der Platte durch ein geeignetes Gebläse einen horizontalen Luftstrom, so erscheint die beim Berühren der Spitze mit dem Knopf einer Leydener Flasche auf der Platte erzeugte Kundt'sche Staubfigur in der Mitte in der Richtung des Luftstromes beträchtlich abgelenkt, also nicht mehr kreisrund, sondern herzförmig verzerrt (Fig. 95).

Mit Hülfe der grossen Leuner'schen Hochdruck-Influenzmaschine konnte ich auch direkt die Aenderung der Glimmentladung auf einer Holtz'schen Scheibe beim Hindurchblasen eines kräftigen Luftstroms zwischen den Elektroden beobachten. Zur Erzeugung des Luftstroms diente ein Luftkompressor mit Motorbetrieb, welcher in einem Windkessel von 0,5 cbm Inhalt die Luft auf 4—8 Atmosphären verdichtete. Als Ausströmungsrohr wurde ein gefirnisstes Glasrohr von ca. 10 mm innerer Weite gebraucht..

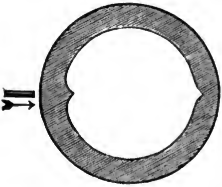


Fig. 96.

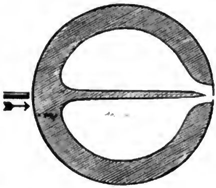


Fig. 97.

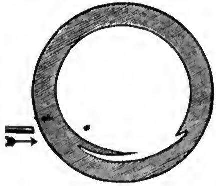


Fig. 98.

Der Erfolg dieser Versuche war ein ganz ähnlicher. Bei mässiger Geschwindigkeit des Luftstroms bildete sich an der Stelle des Eintritts eine Einbuchtung der einen scharfen Kreis von ca. 15 cm Durchmesser bildenden Schicht von Glimmlicht, auf der entgegengesetzten Seite entstand eine entsprechende Hervorragung (Fig. 96). Wurde durch weiteres Aufdrehen des Hahns die Geschwindigkeit vergrössert, so wurden beide Deformationen entsprechend grösser und bei einer bestimmten, sehr grossen Geschwindigkeit bildete sich ein scharfer Schatten des Luftstrahls von einem Ende der Glimmlichtscheibe bis zum andern (Fig. 97). Liess man den Luftstrahl nicht mitten durch die Achse des Kegels der Entladungsstrahlen, sondern näher dem Umfang durchtreten, so erschien der Schatten verzerrt, wie Fig. 98 zeigt.

Zwischen zwei parallelen Platten erschien der Schatten des Luftstrahls, sowie der jedes anderen schattenwerfenden Körpers auf beiden sich gegenüberstehenden glimmenden Flächen.

Nach Faraday soll die Glimmentladung durch Blasen befördert werden. Diese Beobachtung stimmt nicht gut mit den meinen überein, welchen zufolge die Glimmentladung gerade die für Luftströmungen unempfindlichste ist. Man beobachtet allerdings ein theilweises Erlöschen des Glimmlichts, wenn man

demselben entgegenbläst, eine vollständige Entwickelung, wenn der Luftstrom von der entgegengesetzten Seite ausgeht, allein dieses Erlöschen ist nichts anderes, als der Schatten des blasenden Instrumentes, der ebenso zu Stande kommt, wenn der Luftstrom ganz unterbrochen wird.

Wird nach Worthington[1]) ein elektrisirter Stab durch eine Flamme entladen in ruhiger Luft und dann wieder, indem ihn ein starker Luftstrom umgiebt, so lässt sich kein Einfluss des letzteren beobachten.

Piltchikoff,[2]) welcher die Schatten bei der durch den elektrischen Wind hervorgebrachten Depression isolirender Flüssigkeiten beobachtete, konnte keine Aenderung in der Lage der Schatten konstatiren, wenn ein Luftstrom durch den Wind hindurchgetrieben wurde.

Anomalien der Entladungserscheinungen können unter Umständen durch gegenseitige Störung der sich begrenzenden elektrischen Winde hervorgebracht werden. So erklärt sich vielleicht die folgende Erscheinung.

Bei grosser Nähe der negativen Elektrode zeigt sich auch auf der positiven ein dem negativen entsprechender leuchtender Punkt oder Stiel oder mehrere, falls mehrere negative Lichtpinsel vorhanden sind (Fig. 99). In der Nähe eines solchen Punktes verschwindet das Glimmen fast ganz, gerade als ob es sich zu der punktförmigen Lichterscheinung verdichtet hätte. (O. L. 1880.)



Fig. 99.

W. Holtz (1880) bemerkt: Eine weitere Eigenthümlichkeit der positiven Lichtfläche ist „eine kleine hin und her wogende Verdunkelung im Zentrum der Fläche, welche bald mehr, bald weniger in die Augen fällt. Ich möchte aus derselben fast schliessen, dass der kleine röthliche Kegel der negativen Spitze kein voller Kegel ist, oder dass er zum Wenigsten in nächster Nähe der Achse eine geringere Triebkraft hat.“

v. Obermayer und v. Pichler (1886) zeigten, dass die Kundt'sche Staubfigur sich in einen Ring verwandelt, wenn das Pulver nicht vor, sondern während der Entladung aufgestreut wird. Die äussere Begrenzung des Ringes ist scharf, die innere verwaschen.

Verwendet man an Stelle der Platte ein Drahtnetz, so wird ein Theil des Pulvers durch die Maschen desselben hindurchgeblasen.

Es möge hier auch noch ein eigenthümliches Phänomen Erwähnung finden, das ich nur ein einziges Mal beobachtete und deshalb nicht weiter untersuchen konnte. Es zeigten sich nämlich auf der kugelförmigen negativen Elektrode zwei leuchtende Punkte, der eine Punkt auf der Oberfläche, der andere in einer Distanz von ca. 2 mm davon entfernt. Ganz von selbst gerieth dieser anfänglich ruhige Doppelpunkt in sehr schnelle Rotation um die Achse der Elektrode, so dass er den Eindruck von zwei leuchtenden Ringen hervorbrachte, ebenso wie zwei im Kreise geschwungene glühende Kohlen (Fig. 100).

1) Worthington, Beibl. **14**, 202. 1890.
2) Piltchikoff, C. R. **118**, 631, 1894.

Vermuthlich war ein an beiden Enden glimmendes, vom Konduktor angezogenes Wollfäserchen oder dergleichen die Ursache der Erscheinung, welches durch die zuströmende Luft herumbewegt wurde, ohne sich der elektrischen Attraktion wegen entfernen zu können. Die Erscheinung erinnert auch an das Umlaufen des auf S. 9 erwähnten kometenartigen Gebildes im Vakuum, wobei ebenfalls der zuströmende und durch Anprall an den Gefässwänden in Rotation gekommene elektrische Wind die Ursache sein dürfte.[1])

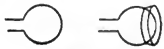


Fig. 100.

A. Einfluss elektrischer Kräfte.

Dass elektrische Kräfte den elektrischen Wind beeinflussen müssen, ist selbstverständlich, da sich die elektrisirte Luft den elektrischen Kraftlinien entlang bewegt und Einwirkung einer elektrischen Kraft nichts anderes bedeutet, als Aenderung der elektrischen Kraftlinien. Allerdings ist es nicht ganz leicht, eine solche Aenderung hervorzubringen, da z. B. bei Annäherung einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange an das Entladungsgebiet die letztere rasch durch den elektrischen Wind selbst unelektrisirt wird.

Righi (1881) gelang es aber, wie schon auf S. **94** bemerkt, zu zeigen, dass, wenn ein schattenerzeugender Körper selbst elektrisch gemacht wird, der Schatten entsprechend verzerrt erscheint, d. h. verbreitert, wenn die elektrisirten Lufttheilchen von dem Körper abgestossen, verkleinert, wenn sie angezogen werden.

B. Einfluss magnetischer Kräfte.

Da der elektrische Wind mechanisch bewegte Elektrizität enthält und solche gleichwerthig ist einem Leitungsstrome[2]), so muss er auch magnetische Wirkungen ausüben und selbst von magnetischen Kräften beeinflusst werden.

J. Borgmann[3]) konstatirte in der That, dass der elektrische Wind eine Magnetnadel abzulenken vermag.

Die Einwirkung eines magnetischen Feldes auf den elektrischen Wind dagegen kann, da sie gegenüber den starken elektrostatischen Kräften in Anbetracht der geringen Menge transportirter Elektrizität äussert klein ist, meist nicht bemerkt werden.

Nur wenn sehr grosse Elektrizitätsmengen bei schwachen treibenden elektrischen Kräften transportirt werden, lässt sich das Vorhandensein der Wirkung thatsächlich erkennen.

Versuche in dieser Richtung führten Elster und Geitel[4]) aus, indem sie die Wirkung des Magnetismus auf die von einem erhitzten Drahte aus-

---

1) O. L., Wied. Ann. **11**, 694. 1880.
2) Vgl. O. L., Elektrizität und Licht, S. 56.
3) J. Borgmann, Beibl. **11**, 184, 1887.
4) Elster und Geitel, Wied. Ann. **38**, 27, 1889.

gehende konvektive Entladung untersuchten. Es ergab sich, dass diese eine elektro-dynamische Ablenkung erfährt, nach Art eines biegsamen Stromleiters, wenigstens deuten darauf die beiden direkt durch das Experiment gefundenen Sätze: „Eine dem konvexen Theile der abgelenkten Strombahn gegenübergestellte Elektrode ist negativ gegen eine dem konkaven zugewandte" und

„Im magnetischen Felde und in verdünntem Wasserstoff wird eine dem glühenden (geraden) Drahte oder Kohlenfaden gegenüberstehende positiv geladene Elektrode leichter entladen, wenn der (biegsam gedachte) glühende Draht oder Faden dem Ampère'schen Gesetz nach sich derselben zuwenden würde, als bei umgekehrter Stromesrichtung."

14. Elektrisirte Luft.

Wie gezeigt, lässt sich das Auftreten und Verhalten des elektrischen Windes in befriedigender Weise erklären, wenn man annimmt, dass da, wo die Glimmentladung endigt, die Luftmoleküle Elektrizität aufnehmen und sich nun entsprechend den elektrostatischen Gesetzen durch die übrigen Luftmoleküle den Kraftlinien entlang weiterbewegen.

Ist es aber wirklich sicher, dass sich Luft elektrisch machen lässt?

Im vorigen Jahrhundert war man davon überzeugt (daher auch die Benennung „elektrischer Wind"), ja man glaubte, mit Leichtigkeit elektrisirte Luft in Gefässen aufsammeln zu können, wie etwa elektrisirte Partikelchen fester Körper. So äussert sich z. B. Cavallo:[1]) „Die Luft, welche sich um die Elektrisirmaschine während der Zeit, in welcher man sie gebraucht, oder sonst um einen stark elektrisirten Körper befindet, nimmt zwar allezeit einen Theil der Elektrizität in sich und behält denselben eine beträchtliche Zeit lang. Aber eine Methode, die Luft noch weit stärker und geschwinder zu elektrisiren ist diese, dass man zwei oder drei Nadeln auf den ersten Leiter (Konduktor) befestigt und denselben etwa zehn Minuten lang immerfort elektrisirt erhält. Wenn man nach diesem Verfahren ein Elektrometer in die um die Maschine herum befindliche Luft bringt, so wird dasselbe deutlich zeigen, dass diese Luft eine beträchtliche Menge von Elektrizität erhalten habe, die sie auch noch behalten wird, wenn man gleich die Maschine in ein anderes Zimmer bringt. Um die Luft negativ zu elektrisiren, setze man die spitzigen Nadeln auf das isolirte Kissen und verbinde den ersten Leiter durch einen Draht oder eine Kette mit dem Tisch oder Boden." Statt der Elektrisirmaschine kann man nach Cavallo auch eine geladene Leydener Flasche und statt der Spitze ein Flamme benutzen.

1) Cavallo, Vollständige Abhandlung der Elektrizität, aus dem Englischen, Leipzig 1785, S. 239.

Schon Faraday[1]) legte sich nun die weitere Frage vor, wie kann es denn möglich sein, Luft zu elektrisiren, da sie doch anscheinend ein vollkommener Nichtleiter der Elektrizität ist? Warum sollen einzelne Luftmoleküle Elektrizität aufnehmen, andere nicht, und warum geben die ersteren unter Umständen ihre Ladung sehr leicht wieder ab, während sie dieselbe unter anderen Umständen hartnäckig festhalten?

In ähnlicher Weise, wie bei den oben zitirten von Cavallo beschriebenen Versuchen versuchte deshalb Nahrwold[2]) festzustellen, ob man wirklich elektrisirte Luft in einem Gefäss ansammeln kann. Das Ergebniss war aber ein wenig befriedigendes, er kam zu dem Ergebniss, dass der Staub dabei eine grosse Rolle spiele und nicht zu entscheiden sei, ob die Elektrisirung dem Staub oder der Luft anhafte. Andere gingen noch weiter und glaubten mit Sicherheit den Staub als den alleinigen Träger der Elektrizität annehmen zu müssen.

So konnte Heydweiller[3]) bei eigenen Versuchen keine elektrisirte Luft beobachten, welche den beweglichen Arm der vor ihm zur Spannungsmessung benutzten Drehwaage hätte beeinflussen müssen und hält es deshalb für erwiesen, dass Luft sich nicht elektrisiren lasse.

Noch in neuester Zeit äusserte sich F. Braun[4]): „Die Frage, ob Gase elektrisirt werden können, ist, wenigstens von deutschen Forschern, meistens verneint worden. Alle Erscheinungen, welche dafür sprechen, wurden aus Staubtheilchen erklärt, mögen sie von vornherein im Gase enthalten gewesen sein oder erst durch den Akt der Elektrisirung demselben zugeführt werden."

Hiernach müssen wir die Frage, woher die Elektrizität des elektrischen Windes stammt, abermaliger gründlicher Untersuchung unterziehen.

Wir haben uns also mit den beiden Fragen zu beschäftigen: a) kann die Luft überhaupt elektrisirt werden, b) in welcher Weise ist die Elektrizität darin enthalten?

Die eingehendsten Untersuchungen bezüglich der Elektrisirung der Luft verdankt man W. Thomson (Lord Kelvin).[5])

Lord Kelvin und M. Maclean[6]) fanden, dass durch eine Spitze staubfreie Luft sowohl positiv wie negativ elektrisirt werden kann und die Elektrisirung durch mehrere Stunden beizubehalten vermag. Dieselbe kann selbst durch zahlreiche zur Erde abgeleitete Drahtnetze hindurchgetrieben werden, ohne erheblichen Verlust an Elektrizität zu erleiden.

---

1) Faraday, Experimentaluntersuchungen, S. 403, § 1406, 1838.

2) Nahrwold, Wied. Ann. **5**, 460, 1878.

3) Heydweiller, Wied. Ann. **48**, 110, 1893.

4) F. Braun, Wied. Ann. **59**, 688, 1896.

5) W. Thompson, Reprint of Papers, Chpt. 296. Proc. Roy. Soc. London **56**, 84, 1894; **57**, 335, 436, 1895.

6) Lord Kelvin und M. Maclean, Nature **50**, 280, 1894 und Proc. Roy. Soc. London **57**, 436, 1895.

Nach Lord Kelvin, M. Maclean und A. Galt[1]) wird Luft schon beim Durchblasen durch Wasser positiv elektrisch, Zusatz von Zinkvitriol zum Wasser vermindert die Spannung. Wird reine Kohlensäure durch reines Wasser geblasen, so wird das Wasser (200 ccm) in zehn Minuten bis zu 8,75 Volt geladen.

Auch F. Braun[2]) beobachtete, dass ein von Drahtnetz umgebenes geladenes Elektroskop entladen wurde durch Luft, welcher mittelst einer Spitze entgegengesetzte Elektrizität zugeführt worden war.

Wurde ein durch Drahtnetz geschütztes Elektrometer in elektrisirte Luft gebracht, so zeigte es eine Ladung von einigen Volt an.

Die Grösse der Ladung, welche man in einem gegebenen Falle und bei gleicher Ladung der Luft erhielt, zeigte sich abhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher die elektrisirten Lufttheilchen die Hülle durchdrangen. Die mehr oder minder starke Krümmung der Fläche, an welcher Entladung der Lufttheilchen stattfand, zeigte sich ohne Einfluss, während zur Ladung der Luft durch eine Spitze ein starkes Gefälle nothwendig war.

Aus diesen Versuchen dürfte wohl mit Sicherheit zu schliessen sein, dass die Luft thatsächlich elektrisirt werden kann und die abweichenden Ergebnisse der andern oben genannten Autoren in den besonderen Umständen, unter welchen sie ihre Versuche ausführten, ihren Grund haben müssen.

Dass Staub ohne Einfluss auf die Stärke des elektrischen Windes ist, also nichts dazu beitragen kann, denselben zu erklären, wurde von Asperèn[3]) nachgewiesen.

Der von einer russenden Flamme ausgehende elektrische Wind war zuweilen schwächer als der einer nichtrussenden. Entfernung des Staubes mit Glycerin war auf die Stärke des elektrischen Windes ohne Einfluss.

Was nun die Art der Elektrizitätsaufnahme durch die Luft anbelangt, so ist, wie schon bemerkt, Faraday[4]) der Ansicht, dass die Luftmoleküle als Nichtleiter die Elektrisirung der Elektrode nicht ohne Weiteres annehmen können, dass dies aber wohl möglich ist, wenn gewissermaassen ein Funke auf die Luft überspringt, d. h. wenn sich die Elektroden mit Glimmlicht bedecken oder Büschel aussenden.

Er äussert sich selbst:

„Die Theilchen, die geladen sind, sind es wahrscheinlich sehr stark, aber da das Medium ein Nichtleiter ist, so können sie diesen Zustand ihren Nachbarn nicht mittheilen. Sie wandern daher unter dem Einfluss der Abstossungs- und Anziehungskräfte, wie es geladene Staubtheilchen thun würden... Die Fortbewegung dieser geladenen Theilchen verursacht, wenn sie zahlreich sind, Wind und Strömungen[5]) . . .“

---

1) Lord Kelvin, M. Maclean und A. Galt, Proc. Roy. Soc. London **57**, 335, 1895.
2) F. Braun, Wied. Ann. **59**, 688. 1896.
3) Asperén, Beibl. **13**, 563, 1888.
4) Faraday, l. c., S. 404, § 1410.
5) Faraday, l. c., S. 414, § 1442.

„Ich nehme nicht an, dass sämmtliche Luft, die an der Bewegung theilnimmt, elektrisirt ist; im Gegentheil wird viel ungeladene Luft mit dem Strome fortgeführt. Die wirklich geladene Menge braucht nur ein geringer Theil derjenigen zu sein, welche schliesslich in Bewegung gesetzt wird[1]) . . ."

„Wenn demnach ein Luft- oder Staubtheilchen, an einer negativen Spitze elektrisirt, unter dem Einfluss der Induktionskräfte zur nächsten positiven Fläche wandert und nach der Entladung sich entfernt, so scheint mir dies genau derselbe Vorgang zu sein, wie wenn ein in dem Elektrolyt negativ gewordenes Sauerstofftheilchen durch dieselbe Disposition der Induktionskräfte fortgedrängt wird, zur positiven Platinelektrode wandert, hier entladen wird und sich dann fortbegiebt, wie es vorher die Luft oder der Staub that."

Auch an anderer Stelle vergleicht Faraday die Konvektion mit der Elektrolyse.[2]) „Die Theilchen können ellenweit durch ein Zimmer wandern, können einen so starken Wind in der Atmosphäre erzeugen, um Maschinen in Bewegung zu setzen, und in Flüssigkeiten, wie in Terpentinöl, können sie sogar die Hand in Erschütterung versetzen und schwere metallische Körper herumführen; und doch sehe ich nicht, dass die Kraft in ihrer Natur oder Wirkung irgend verschieden sei von der, durch welche ein Wasserstofftheilchen sich von einem Sauerstofftheilchen trennt, um zu einem andern zu gehen, oder durch welche ein Sauerstofftheilchen in der entgegengesetzten Richtung wandert . . ."

„Obwohl das Lufttheilchen durch den einen Prozess mit sehr wenig Elektrizität von sehr hoher Intensität (Spannung), während das Wasserstofftheilchen durch den andern Prozess mit viel Elektrizität von sehr niedriger Intensität geladen sein könnte, so sind dies doch . . . keine wesentlichen Verschiedenheiten."

Hiernach scheint Faraday die Ansicht gehabt zu haben, dass sich Luftmoleküle durch den Entladungsvorgang zu hoher Spannung laden können und dann, wie Ionen bei der Elektrolyse, die übrige Luftmasse durchwandern.

Auch E. Wiedemann[3]) betrachtet noch ganze Moleküle als Träger der Elektrizität.

Die Unmöglichkeit dieser Auffassung legte zuerst Giese[4]) dar. Durch Bestimmung der Kapazität der Moleküle gelangt er zu dem Ergebniss, dass selbst im günstigsten Falle, nämlich bei Silber, zur mechanischen Fortführung der Elektrizität durch Moleküle (sogar von noch erheblich kleinen Dimensionen, wie sie die kinetische Gastheorie annimmt), mindestens 1700 mal soviel Materie zur Fortführung der Elektrizität erforderlich wäre, als durch Ionen, und im Mittel sogar 93 000 mal soviel, und zwar selbst wenn man die Rechnung so führt, dass das Ergebniss möglichst klein werden muss. Auch die Grösse der Kraft, mit

1) Faraday, l. c., S. 455, § 1592.
2) Faraday, l. c., S. 464, § 1622.
3) E. Wiedemann, Wied. Ann. **35**, 255, 1888.
4) Giese, Wied. Ann. **37**. 576, 1889.

welcher die Wanderung der elektrisirten Lufttheilchen stattfindet, macht es wahrscheinlich, dass sie weit mehr Elektrizität enthalten, als sie fassen könnten lediglich vermöge ihrer Kapazität, selbst wenn sie bis zur vollen Spannung der Elektroden geladen werden.

Giese macht in dieser Hinsicht auf das Verhalten der Flammen aufmerksam.

Bekanntlich wirken Flammen ebenso wie Spitzen und Riess trug deshalb auch kein Bedenken, diese Wirkung zu erklären durch die Rauchspitzen, welche von der Flamme aufsteigen sollten.

Im Gegensatz hierzu glaubte van Rees in der Beweglichkeit der Flammentheilchen, welche, durch Influenz elektrisch geworden, sich in der umgebenden Luft verbreiten, die Ursache erblicken zu müssen. Er schliesst dies namentlich daraus, dass die Flammen mittelst des Sonnenmikroskops projizirt bis zu 1 m Höhe über dem Brenner keine Spitzen zeigen, vielmehr in wolkenförmige Linien (Schlieren) auslaufen. In ähnlicher Weise sprach sich auch Buff aus.

Wie nun Giese[1]) mit Recht bemerkt, vermag indess auch Buff's Ansicht, dass die Elektrizität an der Oberfläche der Flamme sich nicht anhäufen könne, weil die Gasmoleküle beweglich seien, keine befriedigende Erklärung der Erscheinungen zu bieten, am wenigsten der Thatsache, dass die Elektrizität auch sehr gut nach der Seite und nach unten aus der Flamme austreten kann, während sich doch die Flammengase sammt den benachbarten Luftschichten nach oben bewegen. Verständlich wird diese Wirkung vielmehr nur dadurch, dass man annimmt, einzelne elektrische Atome „Ionen" bewegten sich den elektrischen Kraftlinien, nicht den Strömungslinien der gesammten Gasmasse folgend, durch diese hindurch bis zu dem Konduktor, wo die Kraftlinien endigen, es finde eine Art „Diffusion" von Ionen aus der geladenen Flamme in die umgebende, kalte, ruhende Luft statt, wobei die Ionen unter mancherlei Zusammenstössen mit Luftmolekülen, ihren Weg um so rascher zurücklegen, je grösser das Gefälle des Potentials ist.

R. v. Helmholtz[2]) liess den elektrischen Wind gegen einen Dampfstrahl strömen. Es zeigte sich dann, dass der Dampf in gleicher Weise wie durch eingebrachten Staub[3]) zur Nebelbildung veranlasst wurde. Diese Wirkung war eine sehr schnelle. „Sorgt man nämlich durch Näherung der Pole der (Influenz-) Maschine dafür, dass letztere in beliebig kurzen Intervallen durch Funkenübergang entladen wird, so entspricht jedem Funken ein plötzliches Zusammenzucken, d. h. Blasswerden des Strahles, worauf wieder ein „Aufflammen", ein abermaliges Verschwinden u. s. w. folgt. Bei gut geladener feiner Spitze äussert sich der geschilderte Einfluss bis auf mehrere Decimeter Entfernung."

1) Giese, Wied. Ann. **17**, 543, 1882.

2) R. v. Helmholtz, Wied. Ann. **32**, 1, 1887.

3) Vgl. Aitken, Trans. Roy. Soc. Edinb. **30**, 337, 1881; Coulier und Mascart, Journ. pharm. chim. (4) **22**, 165, 1875; Kiessling, Naturw. Ver. Hamburg **8**, 1, 1884; R. v. Helmholtz, Wied. Ann. **27**, 527, 1886.

15. Die Ionen.

Alles weist, wie man sieht, darauf hin, dass die Träger der Elektrizität in der elektrisirten Luft nicht die Luftatome als solche sind, sondern freie Atome, Ionen, wie sie die Theorie der Elektrolyse voraussetzt.

Eine hübsche Betrachtung von W. Thomson lässt auch erkennen, dass in einem bestimmten Falle die Elektrisirung der Luft durch dieselben Ionen bewirkt wird, welche bei der Elektrolyse in Betracht kommen.

Denkt man sich ein frei im Raume schwebendes, elektrisch geladenes Wassertröpfchen verdampfend, bis nichts mehr vorhanden ist, so wird schliesslich das Potentialgefälle an seiner Oberfläche bis zum Entladungswerthe steigen, somit die Elektrisirung an die umgebende Luft übertragen werden.

Das elektrisirte Wasser verdankt seine Elektrisirung zweifellos der Anwesenheit von Ionen auf seiner Oberfläche,[1]) denn es kann nur elektrisch gemacht werden dadurch, dass man einen Strom hineinleitet und dieser kann dem Faraday'schen Gesetze zu Folge nur zu Stande kommen durch entsprechende Wanderung der Ionen, welche sich schliesslich nach Herstellung des Gleichgewichts an der Oberfläche anhäufen müssen.

Wird nun bei Verdunstung das Wassertröpfchen immer kleiner, so wird die elektrische Spannkraft der Ionen immer grösser und vermag schliesslich (im Verein mit dem osmotischen Drucke) den Binnendruck zu überwinden, so dass die Ionen in die Luft hinaustreten, d. h. das Wassertröpfchen sich entladet. Die Luft ist nunmehr elektrisirt, d. h. sie enthält positive H- oder negative OH-Ionen.

Berzelius schrieb noch allen Elementen die Fähigkeit zu, bei Berührung elektrisch zu werden in dem Sinne, wie es Volta von den Metallen angenommen hatte. Dabei sollte die Menge der in einem Atom angesammelten Elektrizität von der Grösse des elektrochemischen Gegensatzes der in Berührung gebrachten Atome abhängig, also veränderlich sein, auch sollte ein bestimmtes positives Atom sich mit einer beliebigen, wechselnden Anzahl negativer Atome verbinden können. Diese Ansichten wurden durch die Versuche Faraday's widerlegt, welche zu dem Ergebniss führten, dass die Wanderung einer bestimmten Elektrizitätsmenge durch einen Elektrolyten stets verbunden ist mit der Ausscheidung einer bestimmten Anzahl Atome von den Elektroden, dass also die Ladungen der Atome nicht veränderlich sein können und dass die mit Elektrizität beladenen Atome (Ionen) durch die Flüssigkeit wandern; die einen, die „Anionen", gegen die Anode zu, die andern, die „Kationen", zur Kathode.[2]) Hittorf

1) Vgl. Helmholtz, Vorträge und Reden II, 278, 1881; Faraday (Experimentaluntersuchungen **3**, 579, 1855) hält dagegen für möglich, dass es sich bei Elektrisirung eines Wassertropfens um ein „eigentliches", nicht um „elektrolytisches" Leitungsvermögen handelt, welches letztere nothwendig zu einer Anhäufung von Ionen auf der Oberfläche Anlass geben müsste.

2) W. Weber berechnete die Geschwindigkeit der Elektrizitätstheilchen in feuchten Leitern in einem gegebenen Falle zu ca. 0,5 mm pro Sekunde.

fand später die Verschiedenheit der Wanderungsgeschwindigkeiten beider Ionen und F. Kohlrausch die Konstanz der Wanderungsgeschwindigkeit einer Art Ionen (bei bestimmtem Potentialgefälle) in verdünnten Lösungen, gleichgültig welche anderen Ionen anwesend sind.

Faraday[1]) versuchte auch bereits die Ladung eines Atoms (Ions) zu bestimmen, nachdem er erkannt hatte, dass „die Elektrizität, welche eine gewisse Menge einer Substanz zersetzt, gleich ist derjenigen, welche bei der Zersetzung derselben Menge entwickelt wird . . .“ „Es ist die Elektrizität, welche die Aequivalentzahl bedingt, weil sie die Verbindungskraft bedingt . . .“ „Ich kann nicht umhin, hier an die schöne, ich glaube von Berzelius in der Entwickelung seiner Ansichten über die elektrochemische Theorie der Affinität ausgesprochene Idee, dass Wärme und Licht, die in Fällen energischer Verbindung entwickelt werden, die Folge einer bei diesem Vorgange stattfindenden elektrischen Entladung sind, zu erinnern. Die Idee steht in vollkommener Uebereinstimmung mit der von mir gefassten Ansicht über die mit den materiellen Theilchen vereinigte Menge von Elektrizität.“

Weiter ausgebildet wurden diese Ansichten Faraday's von Helmholtz (1847), welcher in seiner berühmten Abhandlung über die „Erhaltung der Kraft“[2]) sagt: „Es lassen sich offenbar alle Erscheinungen in Leitern erster Klasse herleiten aus der Annahme, dass die verschiedenen chemischen Stoffe verschiedene Anziehungskräfte haben gegen die beiden Elektrizitäten und dass diese Anziehungskräfte nur in unmessbar kleinen Entfernungen wirken, während die Elektrizitäten aufeinander es auch in grösseren thun. Die Kontaktkraft würde danach in der Differenz der Anziehungskräfte bestehen, welche die der Berührungsstelle zunächst liegenden Metalltheilchen auf die Elektrizitäten dieser Stelle ausüben und das elektrische Gleichgewicht eintreten, wenn ein elektrisches Theilchen, welches von dem einen zum andern übergeht, nichts mehr an lebendiger Kraft verliert oder gewinnt.“

Und weiter S. 56:

„Denken wir uns die Theile des zusammengesetzten Atomes einer Flüssigkeit mit verschiedenen Anziehungskräften gegen die Elektrizitäten begabt und demgemäss verschieden elektrisch. Scheiden diese Atomtheile an den metallischen Elektroden aus, so giebt jedes Atom nach dem elektrolytischen Gesetz eine von seinen elektromotorischen Kräften unabhängige Menge $\pm E$ an dieselbe ab. Wir können uns deshalb vorstellen, dass auch in der chemischen Verbindung schon die Atome mit Aequivalenten $\pm E$ verbunden sind, welche für alle ebenso gleich sind, wie die stöchiometrischen Aequivalente der wägbaren Stoffe in verschiedenen Verbindungen. Tauchen nun zwei verschiedene elektrische Metalle in eine Flüssigkeit ein, ohne dass ein chemischer Prozess stattfindet, so werden die positiven Bestandtheile der-

1) Faraday, Experimentaluntersuchungen u. s. w. I, 227, § 852 u. ff., 1833.

2) H. v. Helmholtz, Wissenschaftl. Abhandl. I, S. 48.

selben von dem negativen Metall, die negativen vom positiven angezogen. Der Erfolg wird also eine veränderte Richtung und Vertheilung der elektrischen Flüssigkeitstheilchen sein, deren Eintreten wir als Polarisationsstrom wahrnehmen."

Später[1]) sagt Helmholtz:

„Um Faraday's elektrolytisches Gesetz zu erklären, nehme ich an, dass jeder elektrolytisch zerlegbaren Verbindung jeder Valenzwerth des Kation mit einem Aequivalent positiver Elektrizität und jeder Valenzwerth des Anion mit einem Aequivalent negativer Elektrizität verbunden sei. Jede Bewegung von Elektrizität in der Flüssigkeit geschieht nur in der Weise, dass die Elektrizitäten, haftend an ihren Ionen, sich fortbewegen. Da die schwächsten vertheilenden elektrischen Anziehungskräfte ebenso vollständiges Gleichgewicht der Elektrizität im Innern von elektrolytischen Flüssigkeiten erzeugen, wie in metallischen Leitern: so ist anzunehmen, dass der freien Bewegung der positiv und negativ geladenen Ionen keine andern (chemischen) Kräfte entgegenstehen, als allein ihre elektrischen Anziehungs- und Abstossungskräfte . . ."

„Damit eine Anzahl positiver Ionen elektrisch neutral und chemisch unverbunden ausscheide, muss die Hälfte davon ihre Aequivalente $+E$ abgeben und dafür die entsprechenden $-E$ aufnehmen . . ."[2])

„Ist die elektrolytische Flüssigkeit in Berührung mit zwei Elektroden von ungleichem elektrischem Potential, so tritt zunächst Ansammlung von Atomen des positiven Ion an der negativen Platte, des negativen an der positiven ein, bis im Innern der Flüssigkeit die Potentialfunktion einen konstanten Werth erreicht hat. Wenn sich positiv beladene Atome längs der äussern Seite der Elektrodenfläche sammeln, werden an deren inneren Seite die entsprechenden Quanta negativer Elektrizität herangezogen und es wird sich eine elektrische Doppelschicht ausbilden müssen, deren Moment so lange zunimmt, bis die an den beiden Elektroden gebildeten Doppelschichten ausreichen, den zwischen ihnen durch die elektromotorische Kraft der Kette gesetzten Sprung des Potentialwerthes hervorzubringen."

Diese Helmholtz'schen Vorstellungen wurden noch weiter entwickelt durch Giese.[3]) Derselbe sagt: „Die beiden ein Molekül bildenden Ionen haben gleich grosse Ladungen von entgegengesetztem Vorzeichen, das Molekül ist also unelektrisch. Dieser elektrische Gegensatz, der in einem Molekül verbundenen

---

1) H. v. Helmholtz, Wied. Ann. **11**, 749, 1880.

2) Diese Anschauung unterscheidet sich insofern erheblich von der späteren Auffassung von Arrhenius, Ostwald, Nernst u. s. w., als dieser zufolge die Ionen nur eine Art Elektrizität aufnehmen können und dieselbe bei Berührung mit der entgegengesetzt elektrischen Elektrode abgeben, ohne sich entgegengesetzt elektrisch zu laden, so dass also auch unelektrische freie Atome existiren können. Für letztere Ansicht spricht der Mangel eines Leitungsvermögens von Quecksilberdampf, welcher aus einzelnen Atomen bestehend gedacht wird. Wir kommen auf diesen Punkt später zurück.

3) Giese, Wied. Ann. **37**, 587, 1889.

Ionen, ist eine jedem Molekül z. B. auch dem Wasserstoffmolekül zukommende Eigenschaft und die durch ihn bedingte wechselseitige Anziehung der in dem Molekül vereinigten Theile ist eine wesentliche, wenn nicht die einzige Ursache seines Bestehens. Die dem Ion innerhalb des Moleküls und nach seiner Abspaltung aus diesem zukommende Ladung ist der absoluten Grösse nach unveränderlich, kann aber das Vorzeichen wechseln. Dieser Vorzeichenwechsel ist nur in molekularer Berührung mit einem entgegengesetzt geladenen Ion durch Austausch der Ladungen möglich. Auf diesem Austausch der Ladungen und auf Wanderung der Ionen beruhen alle bekannten Formen der Elektrizitätsleitung. Das Molekül ist also **nicht** elektrisirbar."[1])

„Scheidet sich bei der Elektrolyse des Wassers Wasserstoff an einer Platinelektrode aus, so tauschen positive Wasserstoffionen mit negativen Platinionen, welche sich im Metall befinden und ihren Ort nicht wechseln können, ihre Ladungen aus, es bilden sich negative Wasserstoffionen, die mit neu ankommenden positiven wieder unelektrische Wasserstoffmoleküle bilden, während die positiv gewordenen Platinionen mit negativen aus den benachbarten Molekülen sich zu unelektrischen Molekülen vereinigen und neue positive Ionen in Freiheit setzen und zwar so, dass sich dieser Prozess des Austausches der Ladungen von der Oberfläche der Elektrode nach der Leitung hin immer weiter fortsetzt, ohne dass eine erhebliche Ortsänderung der Ionen eintritt. Dieser sich fortsetzende Austausch der Ladungen ist der elektrische Strom in der metallischen Leitung und die Richtung, nach welcher der Austausch, d. h. der Strom hin sich fortsetzt, ist bestimmt durch das Potentialgefälle, das selbst wieder durch die Anordnung der freien Ionen bedingt ist. An der Grenze zweier verschiedener Metalle findet ebenfalls keine nennenswerthe Ortsveränderung der Ionen statt, in Folge der molekularen Kräfte kann sich aber z. B. ein Molekül leichter aus einem negativen Kupfer- und positiven Zinkion bilden, als umgekehrt; in ersterem Falle ist dem Berthelot'schen Gesetz der maximalen Arbeit zu Folge die Wärmetönung grösser als im andern Fall und die Folge ist, dass sich an Löthstellen zweier Metalle die sog. thermoelektrischen Erscheinungen zeigen.

Die Annahme, dass bei der Vereinigung von Cu mit + Zn mehr Wärme frei werde als umgekehrt, oder dass bei der Umsetzung des Moleküls + Cu — Zn in das Molekül — Cu + Zn Wärme frei werde, kommt auf die bereits von H. v. Helmholtz[2]) gemachte Annahme hinaus, dass die verschiedenen chemischen Stoffe verschiedene Anziehungskräfte gegen die beiden Elektrizitäten haben. Darin liegt die ganze Theorie des chemischen Ursprungs der Kontaktelektrizität, welche in neuerer Zeit insbesondere durch die Untersuchungen von Nernst weitere Bestätigung erfahren hat."

Was die Grösse des „Elementarquantums" d. h. der Ladung eines einwerthigen Atoms anbelangt, wie sie zur Erklärung der elektrolytischen Erschei-

1) Vgl. auch Helmholtz, Wied. Ann. **11**, 749, 1880 und Berl. Sitzungsb. 1883. 651.
2) H. v. Helmholtz, Erhaltung der Kraft S. 47, 1847.

nungen angenommen werden muss, so kann sie nach Richarz[1]) zu etwa $129 \cdot 10^{-12}$ cm$^{2/3}$ g$^{1/2}$ sec. angenommen werden. Budde[2]) findet $510 \cdot 10^{-12}$, Stoney[3]) $50 \cdot 10^{-12}$.

Die Höhe des Potentialabfalles an der Oberfläche von Ionen ergiebt sich durch folgende Betrachtung, wobei die Ladung pro Werthigkeit zu $0{,}179 \cdot 10^{-18}$ Coulomb gesetzt werden soll.[4])

Nimmt man den Radius eines Wasserstoffatoms, dasselbe kugelförmig gedacht, zu $R = 5{,}5 \cdot 10^{-11}$ Meter an und berechnet die Kapazität nach der Formel

$$C = \frac{R}{9 \cdot 10^9} \text{ Farad},$$

so folgt

$$C = \frac{5{,}5}{9} \cdot 10^{-20} \text{ Farad},$$

somit die Spannung auf einem Wasserstoffatom, dasselbe frei im Raum gedacht,

$$E = \frac{Q}{C} = \frac{0{,}179 \cdot 9 \cdot 10^2}{5{,}5} \text{ Volt} = 29{,}3 \text{ Volt}.$$

An der Oberfläche des kugelförmigen Wasserstoffatoms wäre also ein Potentialgefälle

$$\frac{dE}{ds} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot dV}{ds} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{Q}{R^2} = \frac{9 \cdot 10^9 . \, 0{,}179 \cdot 10}{5{,}5^2 \cdot 10^{-22}} = 5{,}28 \cdot 10^{11} \text{ Volt pro Meter}$$

vorhanden. In Luft wäre ein so hohes Potentialgefälle unmöglich. Da aber die Wasserstoffatome nur von Aether umgeben sind und das Entladungspotentialgefälle zwar mit sinkender Dichte der Gase abnimmt, aber von einem gewissen hohen Grade der Verdünnung an wieder wächst, muss man annehmen, dass das hohe Spannungsgefälle vom Aether ertragen werden kann.

Eine andere Frage ist, ob wir berechtigt sind, die Ionen als elektrisch geladene Kugeln zu betrachten. Diese Annahme wird sehr unwahrscheinlich, wenn man bedenkt, dass sich entgegengesetzt geladene Sauerstoffatome bis ganz in die Nähe der Wasserstoffatome begeben, so dass nicht nur das Potentialgefälle noch wesentlich steigt, sondern auch eine mächtige Kraft die Atome gegen einander zieht, welche, dem Coulomb'schen Gesetz zufolge, bei dem mittleren Abstande von $3 \cdot 10^{-9}$ Meter

$$K = \frac{9 \cdot 10^9}{g} \cdot \frac{0{,}179^2 \cdot 10^{-36}}{9 \cdot 10^{-18}} \text{ Kilogramm} = 3{,}26 \cdot 10^{-12} \text{ Kilogramm}$$

---

1) Richarz, Wied. Ann. **52**, 397, 1894.

2) Budde, Wied. Ann. **25**, 562, 1885.

3) Stoney, Trans. Dubl. Soc. (2) **4**, 563, 1891.

4) Diese auf Grund etwas anderer Annahmen berechnete Grösse stimmt mit keiner der oben angegebenen gut überein, indess kommt im Hinblick auf die grosse Unsicherheit dieser Zahlen nur die Grössenordnung in Betracht. Vgl. O. L., Elektrizität und Licht 257, § 148, 1895; und Müller-Lehmann, Grundriss der Physik 516, § 418, 1896.

betragen muss. Im Falle der Berührung eines Sauerstoff- und Wasserstoffatoms, wenn man den Radius eines Sauerstoffsatoms zu $8 \cdot 10^{-11}$ Meter annimmt, wäre die Kraft

$$K = \frac{9 \cdot 10^9}{g} \cdot \frac{0{,}179^2 \cdot 10^{-36}}{11^2 \cdot 10^{-22}}$$
$$= \frac{9 \cdot 0{,}179^2}{9{,}81 \cdot 11^2} \cdot 10^{-5}$$
$$= 2{,}43 \cdot 10^{-9} \text{ Kilogramm}$$
$$= 0{,}00243 \text{ Milligramm.}$$

Weil 1 Wasserstoffatom $\frac{10^{-6}}{280 \cdot 10^{18}}$ Kilogramm wiegt, also die Masse $\frac{1}{280 \cdot 9{,}81 \cdot 10^{24}}$ hat, würde diese Kraft einem solchen Atom die Beschleunigung

$$2{,}43 \cdot 10^{-9} \cdot 280 \cdot 9{,}81 \cdot 10^{24} = 6{,}67 \cdot 10^{18} \text{ Meter}$$

ertheilen, in Worten 6,67 Trillionen Meter oder 6,67 Milliarden Kilometer pro Sekunde.

Da nun die mittlere Molekulargeschwindigkeit der Wasserstoffmoleküle nur etwa 1,8 km pro Sekunde beträgt, ist nicht verständlich, auf welche Weise zwei zusammengetroffene Moleküle, etwa in Folge der Stosswirkung eines dritten Moleküls, wie die Clausius-Arrhenius'sche Dissoziationstheorie annimmt, sich wieder trennen könnten. Die Annahme, dass man die Moleküle als frei schwebende geladene Kugeln betrachten könne, steht also mit den Hypothesen und Resultaten der kinetischen Gastheorie in sehr geringer Übereinstimmung. Vielleicht sind aber unsere Vorstellungen über den molekularen Bau der Körper überhaupt nicht zutreffend.[1])

16. Elektrische Diffusion.

Wir wollen nun versuchen auf Grund der Annahme von Ionen die Erscheinungen der konvektiven Entladung zu deuten.

Am natürlichsten erscheint es dabei von der Konvektion in Flüssigkeiten auszugehen, da man es in diesem Falle unzweifelhaft mit Ionen zu thun hat. Hierbei treffen wir aber gleich auf eine Schwierigkeit, insofern zweierlei Arten konvektiver Entladung zu unterscheiden sind.

Lässt man den vollen Strom einer mit Flaschen versehenen Influenzmaschine durch einen Tropfen Bleinitratlösung hindurch gehen und beobachtet die Enden der Elektroden mit Hülfe des Mikroskops, so sieht man an der

1) Vgl. O. L., Naturw. Rundschau **4**, 53, 1889; Natur 1889 Nr. 32; Molekularphysik II, 340; Müller-Lehmann, Grundriss der Physik 48 und 777, 1896.

negativen Elektrode schöne Krystallblättchen von Blei auftreten (Fig. 101 I). Einschaltung einer kleinen Funkenstrecke bewirkt, dass diese Krystalle nur noch an den Ecken weiterwachsen. Weitere Vergrösserung der Funkenstrecke bewirkt Strömung der Flüssigkeit von den Elektroden weg, sowie Auftreten von Dampfbläschen (Fig. 101 II), und grösste Entladungsintensität endlich bewirkt zerreissende Entladung, d. h. Funken, welche von den Elektroden ausgehen und entweder frei in der Flüssigkeit endigen (Fig. 101 III) oder aber bei ganz besonders hoher Intensität die ganze Flüssigkeitsschicht durchdringen und von einer Elektrode bis zur anderen reichen (Fig. 101 IV). (O. L. 1885.)

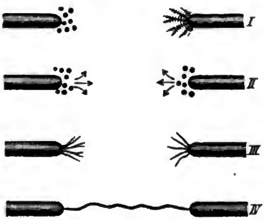


Fig. 101.

Bei der in Fig. II dargestellten Konvektion ist die Spannungsdifferenz der Elektroden noch so gering, dass von Auftreten disruptiver Entladung an deren Enden, welche die thatsächlich beobachtete konvektive veranlassen könnte, keine Rede sein kann.

Die konvektive Entladung in Wasser kannte bereits Faraday.[1]) Er schreibt:

„Wenn zwei mit dem Ruhmkorff-schen Apparat verbundene feine Metalldrähte, etwa in einem halben Zoll Abstand von einander, in destillirtes Wasser getaucht werden, so sieht man bald an den in der Regel vorhandenen Staubtheilchen, wie das Wasser geladen wird und geladen in Strömen davongeht, die sich gegeneinander in der Masse entladen. Eine solche Ladung ist jedoch nicht an Elektrolyse gebunden; die Bedingung der Elektrolysirung ist, dass die Elektrizität durch das Wasser strömt und nicht plötzlich aufhört darin fortzuströmen.“

Um die Vorgänge genauer studiren zu können, untersuchte ich die Strömungen unter dem Mikroskop, indem ich dem Wasser ein feines undurchsichtiges Pulver beimischte.[3])

Am besten eignet sich die gebrauchsfertig präparirte, unter der Bezeichnung Liquid-chinese-ink von E. Wolff & Sohn in kleinen Fläschchen käufliche Tusche, welche genügend mit Wasser verdünnt wurde, um ein unter dem Mikroskop hellgrau erscheinendes Präparat zu erhalten. Die Elektroden wurden mit einer Stromquelle von ca. 70 Volt Spannung verbunden.

Man sieht unter solchen Umständen folgendes: Beide Elektroden umgeben sich mit Höfen, die Anode mit einem dunkelgrauen, scharf umgrenzten, die Anode mit einem blassgrauen mit dunklem Saum, wie Fig. 102 zeigt.

Beide Höfe nehmen rasch an Grösse zu, der positive aber wesentlich schneller als der negative, so dass sie schliesslich in der Nähe der Kathode zusammentreffen. Sobald dies geschieht, bildet sich an der Grenze sofort gegen

1) Faraday, Experimentaluntersuchungen **3**, 582, 1855.
2) O. L., Zeitschr. f. phys. Chem. **14**, 306, 1895.

die Anode zu ein schwarzer Niederschlag von Tusche, gegen die Kathode hin dagegen klärt sich die Flüssigkeit auf, wodurch neben dem schwarzen Niederschlag eine völlig farblose Zone entsteht, welche in heftige wellenförmige Bewegung geräth, während der übrige Theil der Flüssigkeit nach wie vor in völliger Ruhe verharrt.

Fasst man während der Ausbreitung der Höfe einzelne suspendirte Partikelchen unter Beiziehung eines Fadenkreuzes im Okular näher ins Auge, so verrathen sie nicht die geringste Bewegung, nur im Momente, wo die Grenze eines Hofes über sie hinwegschreitet, erfolgt eine Art Zuckung, als ob sie sich etwas gegen den Hof hinbewegten oder davon entfernten. Augenscheinlich sind also die Veränderungen in der Vertheilung der Tuschekörperchen, welche sich

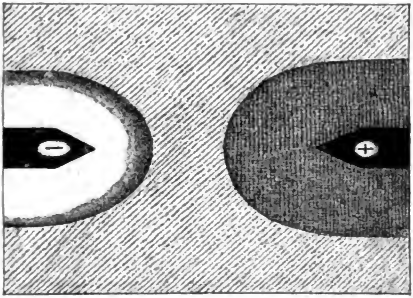


Fig. 102.

durch die dunkle Farbe des positiven Hofes, sowie den dunklen Saum des negativen zu erkennen geben, durchaus anderer Art als diejenigen, welche die elektrische Konvektion begleiten. Es scheint mir nur die eine Erklärung möglich, dass von den Elektroden aus eine chemische Aenderung der Flüssigkeit, in welcher sie suspendirt sind (Wasser mit einer Spur Leim) fortschreitet, welche eine Sedimentation gewöhnlicher Art zur Folge hat, aber an beiden Elektroden verschieden, an der positiven so, dass sich die Theilchen zu einem dichten Netzwerk aneinandergliedern, während sie sich aus dem negativen gegen dessen Grenze hin zurückziehen. Die Säume der beiden Höfe sind entgegengesetzt elektrisch, wodurch die Wirbelbewegungen beim Zusammentreffen veranlasst werden und damit auch die Elektrisirung der Tuschepartikelchen (durch Reibung), so dass diese, wie bei der elektrischen Sedimentation, der Anode zustreben, während sich die von ihnen befreite, entgegengesetzt elektrische Flüssigkeit der Kathode zuwendet.

Verwendet man an Stelle der käuflichen flüssigen Tusche in Wasser angeriebene echt chinesische, so erhält man eine minder homogene Suspension,

auch sind die Theilchen nicht von gleicher Feinheit. Hierdurch wird namentlich die Entstehung des positiven Hofes beeinträchtigt, derselbe erhält einen sehr dunklen Rand, vor welchem eine blasse Zone vorauswandert. Im übrigen sind die Erscheinungen die gleichen.

Noch weniger geeignet ist die in Tuben unter der Bezeichnung „Lampenschwarz" käufliche Aquarellfarbe, doch zeigt sie namentlich die Ausbildung des positiven Hofes noch sehr deutlich.

Gewöhnlicher Russ, mit Alkohol angefeuchtet und dann in Wasser fein zerrieben, ist für den Versuch zu grobkörnig.

c) Suspendirt in Glycerin.

Versetzt man die flüssige Tusche mit Glycerin, so erhält man ein Präparat, welches sich zur Beobachtung noch wesentlich besser eignet als das wässerige,

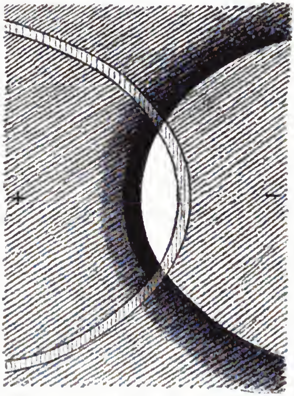


Fig. 103.

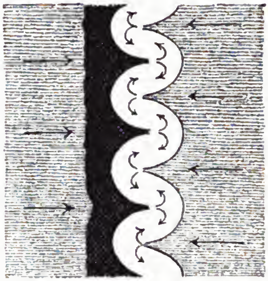


Fig. 104.

da die Zähflüssigkeit des Glycerins alle störenden Bewegungen der Flüssigkeit hindert.

Der positive Hof erscheint nicht merklich dunkler als die umgebende Flüssigkeit und ist nur durch einen schmalen hellen Saum kenntlich. Der negative Hof hat einen dunkeln, innen scharf begrenzten, aussen verwaschenen Saum. Beim Zusammentreffen der Höfe wird der betreffende Theil des negativen Saumes tiefschwarz, während der überdeckte Theil des positiven Hofes völlig entfärbt wird, wie Fig. 103 zeigt.

Bei weiter fortgesetzter Ueberdeckung der Höfe wiederholen sich diese Erscheinungen jeweils da, wo sich die Säume durchschneiden, so dass schliesslich, wie Fig. 104 zeigt, eine gegen die Kathode hin von einem farblosen Saum begrenzte Anhäufung von Tusche entsteht. Die angrenzenden Flüssigkeiten

stören den gradlinigen Verlauf dieser Anhäufung, indem sie in der Richtung der Pfeile in ziemlich regelmässigen Abständen Einbuchtungen erzeugen, und, wie bei konvektiver Leitung vordringend, Wirbelbewegungen erregen. Die Bildung des Tuscheniederschlags erfolgt etwa $^1/_4$ der ganzen Elektrodendistanz von der Kathode entfernt.

d) Suspendirt in Gallerte.

Verdünnt man flüssige chinesische Tusche mit Wasser, bringt einen Tropfen auf den Objektträger, legt ein Blättchen Gelatine und sodann das (uhrglasförmige[1]) Deckglas auf, erwärmt, bis die Gelatine geschmolzen ist, bewirkt durch Hin- und Herschieben wieder gleichmässige Vertheilung der Tuschepartikelchen und leitet nun einen Strom von ca. 200 Volt Spannung hindurch, so beobachtet man folgendes. Obschon die Flüssigkeit zu einer ziemlich steifen Gallerte erstarrt, findet das Fortschreiten der Höfe ebenso wie bei den besprochenen reinen Flüssigkeiten statt. Der positive Hof ist kaum merklich dunkler als die umgebende Gallerte, hat indess zwei Säume, einen inneren schmalen, sehr dunkeln und einen breiten äusseren, weniger dunkeln. Der negative Hof besteht aus einem der Elektrode anliegenden, hellen Theil, auf diesen folgt, durch eine ziemlich scharfe Grenze getrennt, eine dunklere Zone, sodann eine beiderseits sehr scharf begrenzte schmale, fast linienförmige, von Tuschepartikelchen völlig freie Zone, sodann ein äusserer breiter Saum, welcher dunkler ist als die umgebende Gallerte. Treffen bei der Ausbreitung der Höfe die beiden äusseren Säume aufeinander, so vollzieht sich alsbald an den inneren Zonen eine eigenthümliche Aenderung. Die schmale dunkle innere Zone des positiven Hofes umgiebt sich beiderseits mit schmalen farblosen Zonen und nimmt intensiv dunkelblaue Farbe an, die scharfbegrenzte schmale, farblose Zone des negativen Hofes verbreitert sich und kommt in wellenförmige Bewegung. Auch die blaue Zone des positiven Hofes kommt allmählich in Wellenbewegung und sendet fransenartige Streifen eines Gelatineniederschlags aus. In dem hellen Theil des negativen Hofes, in der Nähe der Kathode, entstehen zahlreiche, regelmässig sechseckige farblose Krystalltäfelchen. Nach und nach wird an den wellenförmig bewegten Zonen durch Erhitzung die Gelatine verflüssigt und dadurch die weitere Beobachtung gestört.

Wie man sieht, ist hier die Erscheinung erheblich komplizirter, das Auftreten der blauen Farbe, sowie der Krystalltafeln zeigt aber deutlich, dass es sich um chemische Aenderungen in den Höfen handelt, worauf auch noch der weitere Umstand hinweist, dass die Gelatine in der Nähe der Elektroden so sehr aufquillt, dass das Deckglas unter Entstehung von Hohlräumen in der Mitte der Gallerte gehoben wird. Dass diese chemischen Aenderungen zugleich die Ursache der veränderten Vertheilung der Tuschepartikelchen sind, ist schon deshalb anzunehmen, weil in der steifen Gallerte rein mechanische Wirkungen ausgeschlossen erscheinen.

---

1) Vgl. O. L., Molekularphysik I, 121.

In wasserfreien Flüssigkeiten, wie Alkohol, Propylalkohol, Chinolin u. s. w. zeigten sich die Erscheinungen nicht, dagegen konnten in reinem Wasser, welchem nur spärliche Partikelchen von Lampenschwarz beigemischt waren, immer noch Andeutungen gefunden werden, so dass allem Anschein nach die Zerlegung des Wassers durch Elektrolyse als der eigentliche Grund der Hofbildung und der konvektiven Wirbelbewegungen beim Zusammentreffen der Höfe anzusehen sind.

Da nun durch die Elektrolyse die Beschaffenheit des Wassers nicht geändert werden kann und Sauerstoff und Wasserstoff nur unmittelbar an den Elektroden auftreten können, bleibt nur die Annahme übrig, dass diese Zersetzungsprodukte (vielleicht auch Zersetzungsprodukte des der Tusche oder den Aquarellfarben beigemischten leimartigen Körpers) von den Elektroden aus gegen die Mitte der Lösung hin diffundiren und dabei in mehr oder minder hohem Grade Sedimentation des suspendirten Pulvers veranlassen.

Hierbei kann es sich aber nicht um gewöhnliche Diffusion handeln, denn die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Höfe ausbreiten, ist ausserordentlich viel grösser als die gewöhnliche Diffusionsgeschwindigkeit, auch könnten dabei in keiner Weise die beobachteten scharfen Grenzen der Höfe auftreten. Man muss vielmehr annehmen, dass eine elektrische Kraft diese Diffusion der ausgeschiedenen Zersetzungsprodukte veranlasst, dass also diese bei ihrer Entstehung die Elektrisirung der Elektroden annehmen und sodann dem Potentialgefälle entsprechend zwischen den Molekülen des Wassers, welche selbst unelektrisch sind, sich fortbewegen, bis sie zusammentreffen, worauf dann unter Ausgleich der elektrischen Ladungen, begleitet von konvektiver Wirbelbewegung, in der Mischzone Rückbildung von Wasser stattfindet.

In Uebereinstimmung mit dieser Deutung der Versuche stehen die Ergebnisse weiterer Versuche mit wirklich gelösten, nicht einfach suspendirten Farbstoffen.

1. Bordeauxroth. In wässeriger Lösung geht von der Anode ein scharfbegrenzter violetter Hof aus, von der Kathode ein ziegelrother ohne scharfe Grenze. Beim Zusammentreffen bilden sich sehr schöne regelmässige Wellen, nach der Kathode zu farblos, nach der Anode zu dunkelroth, einen Niederschlag absetzend.

Prachtvoll gestaltet sich der Versuch, wenn die Lösung durch Zusatz von Gelatine verdickt wird. Die Umgrenzungen der Höfe sind in diesem Falle an beiden Elektroden scharf, in dem positiven zeigt sich ein feiner blauer Niederschlag, der negative ist ziegelroth. Beim Zusammentreffen bildet sich ein sehr dunkler Niederschlag in Wellenform mit farblosem Saume gegen die Kathode zu.

2. Congoroth. In wässriger Lösung ist der positive Hof von einem dichten blauen Niederschlag erfüllt und scharf abgegrenzt, der negative Hof unsichtbar. Beim Zusammentreffen entsteht ein blauvioletter Niederschlag mit farblosem Saum. Aehnlich gestaltet sich die Erscheinung bei Anwendung von

Glycerin als Lösungsmittel, ferner bei Zusatz von Zucker oder Gelatine zur wässerigen Lösung. In letzterem Fall ist der blaue positive Hof von einer schmalen Zone umgeben, in welcher sich ein röthlicher Niederschlag bildet, die Umgrenzung des negativen Hofes tritt als dunklerer Saum mehr oder minder deutlich hervor. Werden Glycerin und Zucker gleichzeitig zugesetzt, so werden die Konturen des positiven Hofes vielfach eingebuchtet und die zur Erzeugung gleicher Ausbreitungsgeschwindigkeit erforderliche Spannung wächst bedeutend an. Es lassen sich Lösungen von solcher Zähigkeit herstellen, dass erst bei 10000 Volt Spannung die Höfe merklich voranschreiten. Dabei rücken die Einbuchtungen der Umrisse so nahe aneinander, während gleichzeitig ihre Tiefe zunimmt, dass der sonst zusammenhängende Hof gegen den Rand hin in zahlreiche schmale Streifen ausgefranst erscheint.

3. Tropäolin. In der mit Gelatine versetzten wässerigen Lösung zeigt sich dicht an der Anode zunächst eine farblose, sodann eine violette und schliesslich eine scharfbegrenzte gelbe Zone, die Kathode ist umgeben von einer farblosen Zone, an welche sich eine nach aussen verschwommene rothgelbe anschliesst.

Fasst man die Ergebnisse aller dieser Untersuchungen zusammen, so erscheint es kaum zweifelhaft, dass die Erscheinungen beruhen auf einer Art elektrischer Diffusion, d. h. einer Diffusion der an den Elektroden ausgeschiedenen Zersetzungsprodukte bedingt durch elektrische Ladungen, welche deren Moleküle im Entstehungszustande von den Elektroden angenommen haben.

Von „elektrischen Ladungen der Moleküle“ dürfen wir nun freilich nach dem, was S. 113 von den Ionen gesagt wurde, nicht reden. Es kann sich nur um freie elektrische Atome handeln. Wie nun diese an die Grenze der Höfe gelangen können, lässt sich leicht einsehen.[1])

Es möge die Lösung beispielsweise ein einfaches Salz, etwa K_2SO_4, enthalten. Durch Elektrolyse bildet sich an der Kathode 2 KHO, an der Anode H_2SO_4. Diese Ausscheidungsprodukte sind aber selbst Elektrolyten, werden somit alsbald derart zersetzt, dass H_2 gegen die Kathode wandert, 2 HO gegen die Anode, während die ausgeschiedenen Ionen 2 K und SO_4 aufs Neue wieder 2 KHO und H_2SO_4 bilden. Die zur Kathode wandernden H_2-Ionen treffen zusammen mit den aus der Zerlegung des K_2SO_4 hervorgehenden SO_4-Ionen und bilden damit H_2SO_4, ebenso bilden die 2 HO- mit den K_2-Ionen 2 KHO an der Kathode. Um die Anode herum wird sich somit ein mit Schwefelsäure erfülltes Gebiet („Hof“) ausbreiten, mit derselben Geschwindigkeit, mit welcher die Ionen wandern, während umgekehrt von der Kathode ein mit Kalilauge erfüllter Hof sich ausbreitet. Schliesslich werden beide Höfe mitten zwischen den Elektroden zusammentreffen, wo sich dann K_2SO_4 zurückbildet.

1) F. Kohlrausch und Heydweiller, Wied. Ann. 54, 392, 1895 und E. Warburg, ibid. 396, 1895. Dagegen Coehn, Zeitschr. f. Elektrochem. IV, 63, 1897 und Picton und Linder, ibid. 141.

Da die Höfe anderes Leitungsvermögen, weil andere Zusammensetzung besitzen als die übrige Flüssigkeit, muss sich an ihrer Grenze freie Elektrizität anhäufen, wie z. B. an der Oberfläche einer in Wasser eintauchenden Metall-Elektrode und diese Elektrizität kann der Natur der Elektrolyten entsprechend nur in angehäuften freien Ionen vorhanden sein.

Hiernach erklären sich auch die von Becquerel, Kühne (1860), E. Dubois-Reymond (1860), Liesegang (1896) u. A. beobachteten eigenthümlichen Erscheinungen beim Stromdurchgang durch Eiweiss, Gallerten u. s. w.[1])

Ein Eiweisscylinder z. B. erhält eine Anschwellung an der negativen, eine Zusammenschnürung an der positiven Elektrode. Ein Muskel zeigt wellenartige, rasch gegen die Kathode fortschreitende Verdickungen, eine Thonmasse trocknet am positiven Pol aus und nimmt unter Umständen schiefrige Struktur an u. s. w. (Vgl. auch L. Hermann, Pflüger's Arch. f. Phys. **67**, 240. 1897.)

Ferner dürfte sich auch die von Quincke (1886) gemachte Beobachtung erklären, dass das elektrische Leitungsvermögen dielektrischer Flüssigkeiten nicht dem Ohm'schen Gesetze entspricht, dass vielmehr die Stromintensität rascher wächst, als die elektromotorische Kraft.

17. Disruptive Entladung.

Die zweite Art konvektiver Entladung, welche in Fig. 101 III dargestellt ist, setzt das Auftreten disruptiver Entladung an den Spitzen der Elektroden voraus. In welchem Zusammenhang stehen nun Ionen und disruptive Entladung? Nach dem, was oben über die Natur des elektrischen Spannungszustandes gesagt wurde, liesse sich wenigstens bei festen Körpern eine solche Beziehung wohl auffinden. Ersetzen wir die dort betrachtete Kautschukplatte durch eine chemisch einfacher zusammengesetzte Platte von hexagonal krystallisirtem Jodsilber. Dieselbe isolirt ziemlich gut, während die bei höherer Temperatur oder starkem Druck entstehende regulär krystallisirte Modifikation,[2]) den Messungen von W. Kohlrausch zufolge[3]) ebensogut elektrisch leitet wie das geschmolzene Jodsilber.[4])

---

1) Vgl. auch O. L., Elektrochemische Zeitschr. Heft 4, 1894.

2) Vgl. O. Lehmann, Molekularphysik I, 166.

3) W. Kohlrausch, Wied. Ann. **17**, 642, 1882.

4) Dass auch nicht metallische feste Körper ein erhebliches elektrisches Leitungsvermögen zeigen können, z. B. Salpeter, war schon Faraday (Experimentaluntersuchungen **3**. 576, 1855) bekannt. Er glaubte indess, dass das Leitungsvermögen ein „eigentliches" und nicht „elektrolytisches" sei.

Den Durchgang der Elektrizität durch Glas untersuchte zuerst Giese, Wied. Ann. **9**, 205, 1880, indem er ein Daniell'sches Element konstruirte, dessen Thonzelle durch eine Scheidewand aus dünnem Glas gebildet war (abgebildet in Helmholtz, Vor-

Das Leitungsvermögen der regulären Modifikation wird der elektrolytischen Dissoziationstheorie gemäss zu erklären sein durch die Anwesenheit freier elektrisch geladener Atome, Ionen. Die Zahl Silberionen, die sich in einem Kubikmeter befinden, sei N, die Wanderungsgeschwindigkeit derselben $= V$ Meter pro Sekunde bei einem Spannungsabfall von ein Volt per Meter und die Valenzladung $= Q$, dann ist die Zahl Silberionen, die in einer Sekunde ihre Elektrizität an der Kathode abgiebt, pro Quadratmeter $= N \cdot V$, und die abgegebene Elektrizitätsmenge, also die Stromdichte in Ampère pro Quadratmeter $= N \cdot V \cdot Q$. Nach dem Ohm'schen Gesetz ist die Stromdichte bei dem Spannungsabfall ein Volt pro Meter $= \frac{1}{S}$ Ampère pro Quadratmeter, wenn S den spezifischen Widerstand des Jodsilbers in Ohm pro Kubikmeter bedeutet. Somit ist

$$N \cdot V \cdot Q = \frac{1}{S}$$

und

$$N = \frac{1}{V \cdot Q \cdot S}.$$

Nach den Messungen von F. Kohlrausch[1]) ist $V = 5{,}7 \cdot 10^{-8}$ Meter pro Sekunde, die Valenzladung $Q = 2{,}5 \cdot 10^{-19}$ Coulomb,[2]) und gemäss den Bestimmungen von W. Kohlrausch[3]) $S = 47{,}17 \cdot 10^{-4}$ Ohm pro Kubikmeter.

Hieraus folgt:

$$N = \frac{1}{5{,}7 \cdot 10^{-8} \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-19} \cdot 47{,}17 \cdot 10^{-4}} = 14\,900 \cdot 10^{24},$$

d. h. in einem Kubikmeter regulär krystallisirtem Jodsilber sind 14 900 Quadrillionen freie Silberionen enthalten oder in einem Kubikmillimeter 14 900 Trillionen.[4])

Der mittlere Abstand dieser positiv elektrischen mit je $2{,}5 \cdot 10^{-19}$ Coulomb geladenen Silberatome ist

$$\sqrt[3]{\frac{1}{N}} = 0{,}41 \cdot 10^{-7} \text{ Meter} = 0{,}041 \text{ Millimeter},$$

also verhältnissmässig sehr gross gegen den Durchmesser eines Atoms, welcher der kinetischen Gastheorie gemäss von der Ordnung 0,0000001 Millimeter ist.

---

träge und Reden II, 275). Dauernde Ströme durch Glas und Bergkrystall erhielten zuerst Warburg, Wied. Ann. **21**, 644, 1884 und Warburg und Tegetmeier, Gött. Nachr. 5. Mai 1888.

1) F. Kohlrausch, Wied. Ann. **50**, 407, 1893.

2) Siehe Müller-Lehmann, Grundriss der Physik, § 418, S. 516.

3) W. Kohlrausch, Wied. Ann. **17**, 642, 1882.

4) Nahe ebenso gross muss die Zahl freier Ionen in geschmolzenem Jodsilber sein, da die Leitungsfähigkeit fast dieselbe ist. Eine Lösung von Jodsilber in geschmolzenem Chlor- oder Bromsilber wird weniger Ionen pro Kubikmeter enthalten, insofern der Raum des Kubikmeters nur theilweise mit Jodsilber ausgefüllt ist, dagegen mehr, insofern ein Theil des gelösten Jodsilbers in Ionen zerfällt, bei sehr grosser Verdünnung geradezu die ganze Menge.

Berücksichtigt man nun, dass zwischen diesen positiv elektrischen Silberatomen sich ebensoviel gleich stark negativ geladene Jodatome befinden, so erscheint der Krystall gewissermaassen als ein Kondensator, dessen Belegungen diese elektrischen Atome bilden und dessen isolirende Zwischenschicht die Dicke $^1/_2 \cdot 0{,}41 \cdot 10^{-7} = 0{,}205 \cdot 10^{-7}$ Meter besitzt.

Denkt man sich die Atome, welche sich in einem Kubikmillimeter befinden, in genau parallele Schichten in dem oben berechneten Abstand angeordnet, und zwar abwechselnd positive und negative, so ist die Anzahl positiver Schichten

$$= \frac{10^{-3}}{l} = \frac{10^{-3}}{0{,}41 \cdot 10^{-7}} = 24500,$$

und, da jede ein Quadratmillimeter Ausdehnung hat, die Gesammtfläche der positiven Belegung des Kondensators $= 24500 \cdot 10^{-6}$ Quadratmeter. Die Ladung dieser Belegung beträgt $14900 \cdot 10^{-18} \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-19} = 3700$ Coulomb, somit der oben gegebenen Formel gemäss die in dem Kondensator aufgespeicherte Energie:

$$A = \frac{9 \cdot 10^{-9} \cdot 4 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}02 \cdot 10^{-3} \cdot 3700^2}{2 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}0245 \cdot 2{,}7}$$
$$= 2{,}38 \cdot 10^{13} \text{ Kilogrammmeter.}$$

Das Gewicht von einem Kubikmillimeter Jodsilber, dessen spez. Gewicht $= 5{,}6$ ist, beträgt $5{,}6 \cdot 10^{-6}$ Kilogramm, somit die in einem Kilogramm regulär krystallisirten Jodsilbers in Form freier elektrischer Atomladungen enthaltene Energie

$$\frac{2{,}38 \cdot 10^{13}}{5{,}6 \cdot 10^{-6}} = 4{,}26 \cdot 10^{18} \text{ Kilogrammmeter.}$$

Würden nun bei der Umwandlung des regulär-krystallisirten Jodsilbers in die hexagonale Modifikation, welche sich bei Abkühlung unter 146° oder bei Kompression über 2475 Kilogramm pro Quadratcentimeter bei gewöhnlicher Temperatur vollzieht, die elektrischen Ladungen der Atome verschwinden, so müsste die berechnete Energiemenge in Form von Wärme zum Vorschein kommen. Die Umwandlungswärme müsste somit mindestens betragen

$$\frac{4{,}26 \cdot 10^{18}}{427} = 10000000000000000 \text{ Kalorien.}$$

In Wirklichkeit beträgt indess die Umwandlungswärme nur 6,8 Kalorien, folglich ist zu schliessen, dass auch im hexagonal krystallisirten Jodsilber die freien Atomladungen noch in gleicher Stärke vorhanden sind wie im regulär krystallisirten, obschon die elektrische Leitungsfähigkeit nur sehr gering ist.[1])

1) Gleiches gilt auch für das geschmolzene Jodsilber, da auch beim Schmelzen des regulären Jodsilbers nur eine unbedeutende Wärmemenge verbraucht wird, somit keine erhebliche Menge neuer elektrischer Energie entstehen kann. Auch die Verdünnung des Schmelzflusses durch Zusatz von Chlor- oder Bromsilber, welche sich damit in beliebigen Verhältnissen mischen lassen, bedingt keine auffallenden Wärmetönungen, ob-

Man muss hiernach annehmen, dass die Beweglichkeit der Ionen in der hexagonalen Modifikation bedeutend vermindert ist, durch irgend eine Kraft (z. B. Reibung oder Attraktion), welche wir elektrische Festigkeit nennen wollen. Haben wir eine Platte dieser Modifikation zwischen zwei metallischen Belegungen, wie oben angenommen wurde, und stellen wir eine Spannungsdifferenz zwischen diesen Belegungen her, so werden die Silberatome, weil positiv elektrisch geladen, der negativ geladenen Belegung zustreben, die negativ geladenen Jodatome der positiven.

Die elektrische Festigkeit verhindert aber diese Bewegung und die Kraft des elektrischen Feldes kommt sonach nicht zur Geltung, solange sie unter einer gewissen Grenze bleibt, welche man als elektrische Elastizitätsgrenze bezeichnen könnte. Erst wenn diese überschritten wird, wird sich die Verschiebung der Silber- und Jodatome wirklich vollziehen, die Jodsilberplatte wird unter Funkenerscheinung durch disruptive Entladung zerstört werden.

Treiben wir die Spannungsdifferenz der Belegungen nicht bis zu diesem Punkte, führen dagegen durch Erhitzen oder Komprimiren der Jodsilberplatte Umwandlung in die elektrolytisch leitende reguläre Modifikation herbei, so setzt die elektrische Kraft des Feldes die Silberatome in Bewegung, ohne eine Zerstörung des Krystalls herbeizuführen, und wenn die Belegungen aus Silberblech hergestellt wären, würde die negative an Dicke beständig zu, die positive abnehmen,[1] bis so viele Silberatome, von welchen jedes die Ladung $2{,}5 \cdot 10^{-19}$ Coulomb mit sich führt,[2] von der positiven auf die negative Belegung übergegangen sind, dass die ganze Ladung des Kondensators verschwunden ist.

Durch Rechnung findet sich diese Zahl

$$= \frac{5{,}9 \cdot 10^{-7}}{2{,}5 \cdot 10^{-19}} = 2{,}37 \text{ Billionen.}$$

Die Figg. 105 und 106 stellen die Verschiebung des Silbers durch einen regulären Jodsilberkrystall[3]) schematisch dar, indem die beiden Belegungen als lange Silberstäbe *a*, *b* gedacht sind, welche den Jodsilberkrystall *AgJ* innig berühren und sich beim Durchleiten des Stromes so verschieben, dass der positive sich gewissermaassen in feine unsichtbare Fäden (Ionenströme) auflöst, welche sich durch den Krystall hindurchschieben und auf der andern Seite herausdringend sich sofort wieder zu einem massiven Silberkörper vereinigen,

schon in diesem Fall, wie die Aenderung des Leitungsvermögens beweist, die Zahl der Ionen grösser wird. Es muss somit diese Vergrösserung der Ionenzahl hinsichtlich der Energie kompensirt werden durch den vergrösserten Abstand der Ionen. Sehr verdünnte Lösungen repräsentiren einen Kondensator mit sehr grossen Belegungen, aber auch sehr grossem Plattenabstand, dessen Energie somit nicht grösser ist als die oben berechnete. (Auf diese Weise könnte man für jede Lösung den Dissoziationsgrad bestimmen.)

1) Vgl. O. L., Elektrizität und Licht, § 144, S. 264.

2) Vgl. Müller-Lehmann, Grundriss der Physik, § 418, S. 516.

3) Vgl. O. L., Molekularphysik I, 226 und Wied. Ann. **34**, 18, 1885.

der mit dem dort befindlichen Silberstab aufs Vollkommenste verschweisst. Die Jodatome bilden dabei gewissermaassen ein festes, schwammiges, die Struktur des Krystalls erhaltendes Gerüst, in dessen Zwischenräumen sich die Silberatome frei bewegen können, solange der Krystall regulär ist, dagegen nicht mehr, sobald er sich in die hexagonale Modifikation umgewandelt hat. Dann verhält sich derselbe als Dielektrikum, bis die auf die Ionen wirkende Kraft ausreicht, die der Verschiebung sich entgegenstellenden Hindernisse zu beseitigen. Diese Art der Entladung wäre die elektrolytische Entladung.

Ionenhaltige Flüssigkeiten, wie z. B. geschmolzenes Jodsilber oder Lösung von Jodsilber in geschmolzenem Chlor- oder Bromsilber, können selbstverständlich ebensowenig wie die leitende reguläre Modifikation des festen Jodsilbers als Dielektrikum eines Kondensators dienen, da schon die geringste elektrische Feldintensität die Ionen in Bewegung gegen die Elektroden hin versetzt und keinerlei Hindernisse diese Bewegung unmöglich machen. Für solche Körper

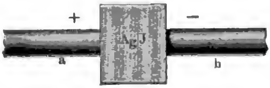


Fig. 105.

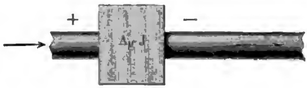


Fig. 106.

ist somit die elektrische Elastizitätsgrenze = 0, weil ihre mechanische Elastizitätsgrenze = 0 ist.

Anders als das hexagonale Jodsilber verhalten sich ionenfreie **Flüssigkeiten** und **Gase**.[1]) Da solche recht gut als Dielektrikum eines Kondensators dienen, somit Energie elektrischer Spannung aufnehmen können, und weil die ein Molekül zusammensetzenden Atome entgegengesetzt elektrisch sind, müssen wir annehmen, dass disruptive Entladung erfolgt, wenn die Kraft des elektrischen Feldes ausreichend ist, die Atome entgegen der sie zusammenhaltenden elektrischen Attraktionskraft auseinander zu reissen, nicht, wie bei der Elektrolyse, sie entgegen hindernden Kräften zu verschieben.

Bei Flüssigkeiten und Gasen hätte somit vom molekular-theoretischen Standpunkte betrachtet die elektrische Elastizitätsgrenze eine andere Bedeutung als bei festen Körpern. Da nun aber manche feste Körper, wie Glas, amorpher Schwefel u. s. w., kontinuirlich aus dem festen in den flüssigen Zustand übergehen können, erscheint dies sehr unwahrscheinlich, somit dürfte sich die gegebene nur für feste Körper passende Vorstellung von dem Wesen der disruptiven Entladung nicht aufrecht erhalten lassen.

---

1) Flammengase, von elektrischen Entladungen durchsetzte oder durchstrahlte Gase, scheinen Ionen zu enthalten. Vgl. weiter unten.

18. Dissoziationstheorie.

Untersuchungen über den Durchgang der Entladung durch verschiedenartige Dämpfe hatten ergeben, dass dieselben sehr leicht durch die Entladung zersetzt werden.[1]) Diese Thatsache in Verbindung mit der andern, dass zum Eintritt der Entladung ein bestimmter Entladungsgradient erforderlich ist, hatten es mir schon zu Beginn meiner Untersuchungen wahrscheinlich erscheinen lassen, dass das Wesen der disruptiven Entladung entsprechend den Faraday-schen Vorstellungen in einer Zertrümmerung der Moleküle besteht.[2])

Zu einer ähnlichen, doch durch Hinzunahme besonderer Hülfshypothesen komplizirteren Vorstellung gelangte später Schuster.[3]) Derselbe nimmt an, dass das Zerfallen der Moleküle nur in der Nähe der Kathode stattfindet und dass die elektronegativen Atome von hier mit grosser Geschwindigkeit fortgeschleudert werden.

Auch nach J. J. Thomson[4]) ist die elektrische Entladung von der Zersetzung der Moleküle in gleich stark entgegengesetzt geladene Atome begleitet und nur durch die Atome kann die Elektrizität von einer Stelle zur andern geführt werden. Die Leichtigkeit der Zersetzung der Moleküle in Atome bedingt die Leichtigkeit der Leitung.

Eine wesentliche Stütze erhielten diese Hypothesen durch eine Beobachtung von A. Schuster, aus welcher zu schliessen war, dass Luft, durch welche die Entladung[5]) hindurchgegangen ist, erfüllt ist mit positiven und negativen Ionen, so dass sie die Fähigkeit besitzt, elektrische Körper zu entladen.

Derselbe[6]) zeigte nämlich, dass in einem durch eine Scheidewand aus Metall, deren Ränder nicht ganz dicht anschlossen, in zwei Theile getheiltem Glasgefäss das Gas in der einen Hälfte die Ladung eines Elektroskops nicht mehr zu isoliren vermochte, wenn in der andern Entladungen durchgeleitet wurden, vorausgesetzt, dass der Luftdruck geringer als 4,3 cm Quecksilber war.

In der Nähe von Entladungen einer Influenzmaschine verlor ein Elektroskop seine Divergenz bei gleichen Elektroden, wenn es positiv geladen war, bei ungleichen, wenn es entgegengesetzt der Spitze elektrisirt war.

Es lässt sich sogar ein konstanter Elektrizitätsstrom in Luft von gewöhnlichem Druck und Wärmegrad erhalten, selbst wenn die Spannungsdifferenz

---

1) Vgl. O. L., Zeitschr. f. Instrumentenkunde **2**, 77, 1882.

2) O. L., Wied. Ann. **11**, 687, 1880; ferner E. Wiedemann, ibid. **10**, 248, 1880 und Giese, ibid. **17**, 538, 1882; **37**, 576, 1889 und **38**, 403, 1889.

3) Schuster, Proc. Roy. Soc. **37**, 317, 1884; Wied. Ann. **24**, 74, 1885 und **47**, 526, 1890.

4) J. J. Thomson, Phil. Mag. Juni 1883; ferner (5) **29**, 358, 441, 1890.

5) Es gilt dies nur für Funkenentladung; das Ozon erzeugende Effluvium zerstört im Gegentheil vorhandene Leitfähigkeit. Vgl. Villari, Naturw. Rundschau XII, 22, 1897.

6) A. Schuster, Proc. Roy. Soc. **42**, 371, 1887.

der Elektroden nur $^1/_4$ Volt beträgt, falls in demselben Gefäss ein unabhängiger Strom unterhalten wird.

Eine Bestätigung fanden diese Beobachtungen in Versuchen von R. von Helmholtz,[1] welchen zufolge ein glühender Platindraht, welcher durch eine isolirte Batterie im Glühen gehalten und durch eine Influenzmaschine elektrisirt wird, sich „im höchsten Maasse wirksam auf einen Dampfstrahl zeigte. Er konnte bis auf $^1/_2$ m von demselben entfernt werden und doch trat noch deutliche Farbenänderung ein.“

Es lassen sich theoretische Gründe dafür beibringen, dass diese Farbenänderung, welche durch beginnende Kondensation veranlasst ist, auf die Gegenwart von Ionen hinweist.

M. Toepler[2]) zeigte neuerdings, dass ein durch die Entladungsbahn geleiteter Luftstrom sich so verhält, als ob er mit positiven und negativen Ionen versetzt sei, d. h. er vermochte ein beliebig geladenes Elektroskop fast sofort zu entladen, auch dann, wenn sich dasselbe in einem Gehäuse von Drahtnetz befand.

Auch aus Versuchen von Dessau[3]) über Kathodenzerstäubung und Oxydation der entstandenen Spiegel lässt sich auf Anwesenheit freier Ionen in der Entladungsbahn schliessen. Derselbe schreibt: „Nach Herstellung der spiegelnden Schichten zeigte sich selbst bei leichter oxydirbaren Metallen die Elektrode stets völlig metallisch rein, die Oxydation kann also nicht an dieser selbst vor sich gegangen sein; ebensowenig aber an der bereits fertigen Metallschicht; sie vollzieht sich demnach an den einzelnen zerstäubenden Theilchen. Die leichte Entstehung solcher Verbindungen, welche anderweitig gar nicht oder nur auf Umwegen zu erhalten sind, kann wiederum als eine Stütze gelten für die von A. Schuster[4]) ausgesprochene Ansicht, dass die Elektrizitätsleitung in Gasen nur analog der in flüssigen Elektrolyten aufzufassen sei, d. h. dass die Moleküle selbst der einfachen Gase unter der Einwirkung des elektrischen Stromes in Atome zerfallen, womit dann ohne Weiteres die energischeren Reaktionsbedingungen des sog. status nascendi gegeben sind.

Ist die Ansicht zutreffend, so muss sich die Zahl der zertrümmerten Moleküle aus dem Energieverbrauch bei der Entladung berechnen lassen.

Nach E. Wiedemann[5]) sind zur Dissoziation von 1 g Wasserstoffmolekülen etwa 126 Kalorien = 54200 Kilogrammmeter Arbeit erforderlich. Nun tritt Leuchten von verdünntem Wasserstoff, von welchem 1 g 4,3 cbm erfüllt, bereits ein, wenn sich derselbe zwischen den Kondensatorplatten eines Lecher'schen Drahtsystems von 0,1 m Radius, 0,45 m Abstand und 1200 Volt

1) R. v. Helmholtz, Wied. Ann. **32**, 5, 1887.
2) M. Toepler, Beibl. **21**, 52, 1896.
3) Dessau, Wied. Ann. **29**, 362, 1886.
4) A. Schuster, Proc. Roy. Soc. Lond. **37**, 317, 1884.
5) E. Wiedemann, Wied. Ann. **18**, 509, 1883; **49**, 24, 1893.

Spannungsdifferenz befindet. Die Kapazität des Kondensators ergiebt sich nach der einfachsten (für diesen Fall allerdings nicht ganz zutreffenden) Formel[1]) zu

$$C = \frac{0{,}1^2}{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 0{,}45} \text{ Farad},$$

somit die Ladung zu

$$Q = \frac{0{,}1^2 \cdot 1200}{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 0{,}45} \text{ Coulomb},$$

folglich die potentielle Energie zu

$$P = \frac{1}{2g} \cdot \frac{0{,}1^2 \cdot 1200^2}{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 0{,}45} \text{ Kilogrammmeter}.$$

Nimmt man an, dass diese Energie vollständig in dem Zwischenraum zwischen den beiden Kondensatorplatten enthalten sei, was ebenfalls nicht streng richtig ist, da ein erheblicher Theil von Kraftlinien nicht direkt von einer Kondensatorplatte zur anderen geht, so ist die in 1 cbm enthaltene Energiemenge, da der Raum zwischen den Platten $\pi \cdot 0{,}1^2 \cdot 0{,}45$ cbm misst:

$$= \frac{0{,}1^2 \cdot 1200^2}{2 \cdot 9{,}81 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 0{,}45 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}1^2 \cdot 0{,}45} = 0{,}32 \cdot 10^{-5} \text{ Kilogrammmeter}.$$

Jedenfalls wird von dieser Energiemenge nur ein kleiner Theil bei den Gasentladungen verbraucht, da letztere die Schwingungen in dem Lecherschen Drahtsystem nicht merklich stören. Um 1 cbm des verdünnten Gases zum Leuchten zu bringen, sind also, da etwa 10^8 Zeichenwechsel, d. h. Entladungen des Kondensators pro Sekunde (entsprechend der Zahl der Schwingungen in dem Drahtsystem) erfolgen, höchstens $0{,}35 \cdot 10^{-5} \cdot 10^8 = 350$ Kilogrammmeter pro Sekunde $= \frac{350}{75} = 4{,}66$ Pferdekräfte erforderlich.

Nach obiger Berechnung von E. Wiedemann sind zur Dissoziation von 1 g = 4,3 cbm Wasserstoffmolekülen 54 200 Kilogrammmeter Arbeit nöthig, somit für 1 cbm 11 300 Kilogrammmeter.

Da ferner zur Erzeugung einer Entladung bereits $0{,}35 \cdot 10^{-5}$ kgm ausreichen, ist anzunehmen, dass, wenn überhaupt die Entladung auf Zerspaltung der Moleküle beruht und die angenommene Grösse der Dissoziationsarbeit richtig ist, nur $0{,}31 \cdot 10^{-9}$ der gesammten Zahl von Molekülen zerlegt werden. 1 Gramm (= 4,3 cbm) Wasserstoff enthält nun $0{,}2 \cdot 10^{24}$ Moleküle, somit 1 Kubikmeter $0{,}0415 \cdot 10^{24}$, das Leuchten von 1 Kubikmeter verdünntem Wasserstoff wäre also durch den Zerfall von $1{,}29 \cdot 10^{13} = 12\,900\,000\,000\,000$ Molekülen bedingt.[2])

1) Genauer ist nach H. Ebert und E. Wiedemann, Wied. Ann. **50**, 29, 1893, $C = 5{,}9 \cdot 10^{-12}$ statt $6{,}2 \cdot 10^{-12}$ Farad, wie sich aus obiger Formel ergiebt.

2) E. Wiedemann hält diese Annahme für unwahrscheinlich und entwickelt deshalb eine andere Theorie, nach welcher ein an sich lichtloser (eventuell kontinuirlicher) Strom die elektrischen Ladungen der Moleküle in Schwingungen versetzt, ähnlich wie ein Violinbogen eine Stimmgabel oder eine Saite, an welcher er vorbeigezogen wird. Da nicht wie bei dem Violinbogen Reibung die Schwingungen erzeugen kann, so muss an-

Bei dem betrachteten Kondensator ist die Ladung jeder Platte

$$Q = \frac{0{,}1^2 \cdot 1200}{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 0{,}45} \text{ Coulomb.}$$

Die Kraftlinien, welche von diesen Platten ausgehen, müssen, sobald Influenz, d. h. Entladung, eintritt, in dem von Entladung durchsetzten Theil des Gases verschwinden, d. h. sich an die durch Dissoziation der Moleküle entstandenen elektrischen Atome anheften.

Aus den elektrolytischen Erscheinungen ist nun zu schliessen, dass die Ladung eines Atoms $= \frac{50}{400} \cdot 10^{-18} = 1{,}25 \cdot 10^{-19}$ Coulomb; die Zahl der dissoziirten Moleküle muss also in dem Zwischenraum zwischen den Platten

$$Q : 1{,}25 \cdot 10^{-19} = \frac{0{,}1^2 \cdot 1200 \cdot 10^{19}}{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 0{,}45 \cdot 1{,}25} = 0{,}596 \cdot 10^{10},$$

somit in einem Kubikmeter

$$\frac{0{,}596 \cdot 10^{10}}{3{,}14 \cdot 0{,}1^2 \cdot 0{,}45} = 0{,}42 \cdot 10^{12}$$

betragen.

Wie man sieht, stimmt das Resultat mit der oben gefundenen Zahl $1{,}29 \cdot 10^{13}$ der Grössenordnung nach überein.

Eine weitere Theorie wäre vielleicht möglich auf Grund der Temperaturänderungen. Ist, wie oben angenommen, nur $3 \cdot 10^{-9}$ der gesammten Gasmenge an der Entladung betheiligt, so ist der auf die wirklich dissoziirten Moleküle entfallende Energiebetrag ausserordentlich gross, dieselben müssen bis zu Temperaturen erhitzt werden, die sich auf andere Weise auch nicht annähernd erreichen lassen.

Experimentell lassen sich diese hohen Temperaturen nicht feststellen, da die Wärme sofort auf die umgebenden Moleküle übergeht, so dass das, was gemessen werden kann, nur die schliesslich sich ergebende Mitteltemperatur ist.

De la Rive[1]) glaubte diese Temperatur nach Beobachtungen mit dem Thermometer ziemlich hoch annehmen zu müssen; dagegen hat E. Wiedemann[2]) zuerst auf den niedrigen Werth der mittelst des Thermometers gemessenen mittleren Temperatur in leuchtenden Geissler'schen Röhren hingewiesen, allerdings ohne dieselbe von der maximalen zu unterscheiden. Zu gleichem Ergebniss kam auch Hittorf.[3])

Goldhammer[4]) richtete die Entladungsröhre gleichzeitig als Luftthermometer ein. Es ergaben sich bei Anwendung eines Ruhmkorff Temperatur-

---

genommen werden, dass die Entladung stets in einzelnen Stössen stattfindet, also niemals wirklich kontinuirlich ist und die Stromstösse weit raschere Oszillationen der Valenzladungen veranlassen, welche auf den Molekülen verschiebbar gedacht werden.

1) De la Rive, Pogg. Ann. **131**, 455, 1867.

2) E. Wiedemann, Wied. Ann. **6**, 298, 1879 und **10**, 202, 1880.

3) Hittorf, Wied. Ann. **7**, 577, 1879 und **21**, 123, 1884.

4) Goldhammer, Beibl. **9**, 463, 1885.

steigerungen um 20 bis 60 Grade. Die Erwärmung ist also sehr gering unter gewöhnlichen Umständen.

Warburg[1]) berechnete die Temperatur aus den Wärmeleitungskonstanten zu 21° bis 132°. Bei einem Druck von 2 mm wuchs die Temperaturzunahme des Stickstoffs bei einer Steigerung der Stromstärke von 0,0012 Amp. auf 0,0032 Amp., von 21,6° auf 39,2°.

Nach den bolometrischen Messungen von R. W. Wood[2]) beträgt die Temperaturerhöhung in einer Geissler'schen Röhre von 1,5 cm innerem Durchmesser für 1 Milliampère bei 0,3 mm Druck etwa 90°, bei 2 mm 160°, bei 3 mm 230°. Für grössere Stromstärken wurden die auf 1 Milliampère bezogenen Temperaturerhöhungen etwas kleiner.

Sehr viel höher (über 250°) sind die Temperaturen nach meinen Versuchen[3]) bei grösseren Stromstärken. Arons[4]) bestimmte die Temperaturen in einem nur Quecksilber und Quecksilberdampf enthaltenden Rohre bei 4 bis 5,5 Amp. direkt mittelst eines Thermometers und fand sie ca. 400 bis 470°. In der Rohrachse war die Temperatur sogar höher als der Schmelzpunkt des Platins.

Was die Temperatur des gewöhnlichen Lichtbogens zwischen Kohlenspitzen anbelangt, so scheint die Temperatur der Anodenspitze nach den kalorimetrischen Bestimmungen von Violle und Gray etwa 3500° C. zu sein. Nach Rosetti (1879) ist die Temperatur der Anode ca. 700° niedriger, die des Lichtbogens selbst beträchtlich höher. Früher taxirte man die Temperatur des Bogens zu 10000° und mehr, was aber wohl beträchtlich zu hoch gegriffen ist.

S. P. Thompson[5]) meint, die Temperatur des Lichtbogens müsse gleich der der Anodenspitze sein, da der Lichtbogen aus Kohledampf bestehe und dieser die Temperatur der verdampfenden Kohle haben muss.

Violle[6]) machte dagegen bereits darauf aufmerksam, dass in einem zwischen Zinkelektroden gebildeten Lichtbogen, obschon der Siedepunkt des Zinks bei 930° liegt, ein eingebrachter Kohlefaden auf helle Weissgluth erhitzt wird, die Temperatur also beträchtlich höher sein muss.

Kalorimetrische Versuche über die bei einzelnen Funken auftretende Wärmemenge haben Paalzow und Neesen[7]) ausgeführt. Es ergab sich die Temperaturerhöhung bei einem Entladungsschlage unter bestimmten Umständen zu 649000° C., falls angenommen wurde, dass alle Gastheile an der Erwärmung in gleicher Weise theilnehmen und der Berechnung die spezifische Wärme bei konstantem Volumen zu Grunde gelegt werden könne, was allerdings, wie sie selbst bemerken, wohl nicht zutrifft.

1) Warburg, Wied. Ann. **54**, 265, 1895.
2) R. W. Wood, Wied. Ann. **59**, 238, 1896.
3) O. L., Wied. Ann. **55**, 377, 1895.
4) Arons, Wied. Ann. **58**, 83, 1896.
5) S. P. Thompson, Zeitschr. f. Elektrochemie II. S. 593, 1896.
6) Violle, C. R. **119**, 949, 1894.
7) Paalzow und Neesen, Wied. Ann. **56**, 276, 1895.

19. Geschwindigkeit des elektrischen Windes.

Eine weitere Prüfung der Theorie lässt sich durchführen, indem man die Geschwindigkeit des elektrischen Windes berechnet und dieselbe mit der beobachteten vergleicht. Allerdings ist hierzu im Prinzip die Molekularhypothese nicht erforderlich, da sich die erzeugte Bewegungsenergie nach dem Gesetz der Erhaltung der Energie direkt aus der gebrauchten elektrischen Energie ergiebt, vorausgesetzt, dass man diesen Bruchtheil der gesammten Stromarbeit kennt.

Die Messung der Geschwindigkeit des elektrischen Windes kann in verschiedener Weise erfolgen.

Bringt man z. B. die Spitze, von welcher der elektrische Wind ausgeht, vor die Mündung eines engen Rohres, aus welchem Leuchtgas horizontal ausströmt, so kann man aus der Ablenkung des Leuchtgasstromes durch den elektrischen Wind (Fig. 107) die Geschwindigkeit des letzteren ermitteln.

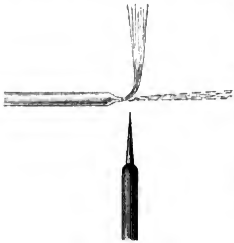


Fig. 107.

Holtz (1880) bestimmte die Geschwindigkeit des elektrischen Windes theils nach der Umdrehungszahl eines Flügelrädchens, theils nach dem auf eine in den Weg gestellte Fläche ausgeübten Druck zu etwa 2,43 m in der Sekunde.

v. Obermayer und v. Pichler (1886) bedienten sich eines Anemometers, welcher 4 cm hinter einem Schirm aus Drahtnetz angebracht wurde, gegen das der elektrische Wind hinströmte. Bei Stromstärken von 6, 12 und 18mal 10^{-5} Ampère ergaben sich Geschwindigkeiten von 1,5, 1,9 und 2,4 $m.^{1}\ sec.^{-1}$, gleichgültig ob die den Wind erzeugende Spitze positiv oder negativ war. Ein Bündel aus 4, ein Quadrat von 4 mm Seite bildenden Spitzen ergab bei 6,3, 12,5 und 18,8 mal 10^{-5} Ampère die Geschwindigkeit 1,52, 2,03 und 2,63 $m.^{1}\ sec.^{-1}$. Im letzteren Falle war 2 m hinter dem Schirm die Geschwindigkeit noch nahezu 1 m bei etwa 26 cm Breite des Luftstromes.

Bezüglich der Stromstärke fanden v. Obermayer und v. Pichler (1886), dass bei Gegenüberstellung einer Spitze und Platte die Stromstärke innerhalb weiter Grenzen von deren Entfernung unabhängig ist. Ebenso änderte sie sich nicht erheblich, wenn die eine Spitze durch ein Bündel mehrerer Spitzen ersetzt wurde. Anders verhielt es sich dagegen mit der Potentialdifferenz. Für die Entfernungen 2 cm und 20 cm waren z. B. bei einfacher Stromstärke die Potentialdifferenzen 18500 respektive 68200 Volt, bei dreifacher (hervorgebracht durch Nebeneinanderschaltung von drei Influenzmaschinen) beziehungsweise 27300 und 83400 Volt.

Wurde die eine Spitze durch ein Bündel ersetzt, so verkleinerte sich die Potentialdifferenz z. B. bei Anwendung von 8 Spitzen auf etwa 0,4 derjenigen bei einer Spitze. Dieses Verhältniss ändert sich indess mit der gegenseitigen Entfernung der Spitzen; merklich allerdings erst dann, wenn sie einander sehr nahe kommen. Dann steigt es rasch auf 1, welcher Werth erreicht wird, wenn die 8 Spitzen zusammenfallen, d. h. nur eine einzige bilden.

Nach de Fodor[1]) ist die Stärke eines zwischen einer Spitze und einem Papierschirm in Form elektrischen Windes übergehenden Stromes proportional zum Abstand und zur Oberfläche des Schirms.

Bei Versuchen von Precht[2]) betrug die Stromstärke bei einer konstant auf etwas über 8000 Volt erhaltenen Spitze 10^{-7} Ampère.

Zur Messung der elektrischen Kraft benutzte Precht[3]) eine am einen Waagebalkenende einer sehr empfindlichen Waage befestigte Spitze, also dasselbe Prinzip, auf welchem die Wirkung des Flugrades beruht.[4])

Warren de la Rue und H. W. Müller (1877) beobachteten bei Anwendung einer Batterie von 8040 Chlorsilberelementen mit 8,64 mm Schlagweite, dass selbst bei 13—15 cm Abstand der Elektroden (positive Spitze, negative Platte) eine Entladung überging, welche in einem gleichzeitig eingeschalteten Geissler'schen Rohr Leuchten erzeugte. Die Stromintensität war indess weit geringer, als bei vollkommen disruptiver Entladung.

Nach Arrhenius[5]) nimmt die Reaktionskraft eines Flugrades etwas langsamer zu als die ausströmende Elektrizitätsmenge. Bei sog. permanenten Gasen war sie dem Gasdruck und der Quadratwurzel aus dem Molekulargewicht proportional.

Versuchen wir nun auf Grund der bisherigen Resultate die Geschwindigkeit des elektrischen Windes zu berechnen.

Bringt man eine zugespitzte Elektrode nach und nach auf immer höheres Potential, so erreicht schliesslich das Potentialgefälle an der Spitze (der Potentialgradient) den Entladungswerth, welcher für Luft von gewöhnlicher Temperatur und Dichte etwa 10^7 Volt pro Meter beträgt.

Bedeutet V das Potential in Coulomb-Meter, E die Spannung in Volt, l die Entfernung von der Spitze in Metern, H die Feldintensität in Kilogrammen pro $\frac{g}{9 \cdot 10^9}$ Coulomb und h die elektrische Dichte auf der Spitze in Coulomb pro Quadratmeter, so ist (nach O. L., Elektr. u. Licht, § 56):

---

1) de Fodor, Beibl. **8**. 401, 1884.

2) Precht, Wied. Ann. **49**, 180, 1893.

3) Precht, l. c. 159.

4) Ueber das Flugrad vergl. ferner Hamilton (Phil. Trans. **51**, 905, 1760), Kinnersley (Phil. Trans. **51**, 86, 1762), Melde (Zeitschr. f. Instrum. **1**, 76, 1881) Kämpfer (Wied. Ann. **20**, 601, 1883) und Oosting (Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterricht **9**, 84, 1896). Letzterer lässt ein Flugrad mit horizontaler Achse auf Friktionsrollen einen Faden mit Waagschale aufwinden und bestimmt so direkt den Effekt durch die aufgelegten Gewichte und die Zeit, in welcher sie auf gemessene Höhe gehoben wurden.

5) Arrhenius, Beibl. **20**. 566, 1896.

$$\frac{dV}{dl} = \frac{1}{9 \cdot 10^9} \cdot \frac{dE}{dl} = -H = -4\pi h,$$

somit

$$\frac{dE}{dl} = -9 \cdot 10^9 \cdot 4\pi h \text{ Volt pro Meter.}$$

Nimmt man nun an, die Elektrode habe die Form eines beiderseits zugespitzten Drahtes von der Form eines Rotationsellipsoids, dessen Halbachsen $a = 1$ m und $b = 0{,}001$ m betragen, dessen Exzentrizität $e = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$, also $= 1 - 10^{-6}$ m sei, so ergiebt sich die Kapazität C dieser Elektrode nach der Formel[1]):

$$C = \frac{2a \cdot e}{9 \cdot 10^9 \cdot \log \text{nat} \frac{1+e}{1-e}} = 1{,}53 \cdot 10^{-11} \text{ Farad.}$$

Beträgt, wie angenommen, die Spannung E Volt, so wird die Ladung der Elektrode

$$Q = 1{,}53 \cdot 10^{-11} \cdot E \text{ Coulomb,}$$

und die Dichte an der Spitze

$$h = \frac{Q}{4\pi \cdot 10^{-6}} = 1{,}24 \cdot 10^{-6} \cdot E \text{ Coulomb pro Quadratmeter,}$$

somit das Potentialgefälle

$$\frac{dE}{dl} = 9 \cdot 10^9 \cdot 4\pi \cdot 1{,}24 \cdot 10^{-6} \cdot E = 1{,}4 \cdot 10^5 \cdot E \text{ Volt pro Meter.}$$

Soll Entladung eintreten, so muss dasselbe $= 10^7$ Volt pro Meter sein, also

$$E = \frac{10^7}{1{,}4 \cdot 10^5} = 71{,}5 \text{ Volt.}$$

Es ist wohl kaum anzunehmen, dass an einer technisch herstellbaren, wenn auch sehr schlanken und feinen Spitze an 2 mm dickem Draht bereits bei 71,5 Volt Spannung Glimmentladung eintrete, indess ist zu berücksichtigen, dass das erforderliche hohe Potentialgefälle von 10000000 Volt pro Meter dabei nur unmittelbar an der Spitze vorhanden ist, somit schon dünne Fett- oder Oxydschichten u. s. w. den Eintritt der Entladung hindern können.

Nehmen wir an, die Entladung sei eingetreten, die Elektrizität der Spitze sei also an die umliegende Luftschicht übergegangen, so bestimmt sich die Kraft, mit welcher diese Luftschicht sich von der Spitze zu entfernen sucht, nach der Gleichung (O. L., Elektr. u. Licht, § 65)

$$p = \frac{9 \cdot 10^9}{g} \cdot 2\pi \cdot h^2 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2\pi \cdot 1{,}24^2 \cdot 10^{-12} \cdot 71{,}5^2}{9{,}81} = 45 \text{ kg pro Quadratmeter} = \frac{45}{10333} = 4{,}46 \cdot 10^{-3} \text{ Atmosphären.}$$

Diese Kraft ist so gering, dass vielleicht schon bei Abwesenheit jeder Oxyd- und Fettschicht die adsorbirende Kraft des Metalls ausreicht, die elek-

1) Vgl. Mascart und Joubert, Elektrizität und Magnetismus I, 61.

trisirte Luftschicht festzuhalten und dadurch die Entstehung des elektrischen Windes zu hindern.

Giebt man der Elektrode höhere Spannung, so wird die Kraft entsprechend grösser, und die Luft wird thatsächlich abgestossen, während neue nachdringt. Wäre beispielsweise die Spannung der Elektrode 10000 Volt, so ergäbe sich

$$p = 85{,}7 \text{ Atmosphären.}$$

Könnte man annehmen, dass das Abströmen der Luft nach demselben Gesetz erfolgte, wie aus einer Oeffnung eines mit 85,7 Atmosphären Ueberdruck oder 86,7 Atmosphären wahrem Druck gefüllten Windkessels, so ergäbe sich die Geschwindigkeit des elektrischen Windes nach der Formel[1]):

$$W = \sqrt{\frac{2 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}41 \cdot 86{,}7 \cdot 10333 \cdot 0{,}0094}{0{,}41}\left[1 - \left(\frac{1}{86{,}7}\right)^{\frac{0{,}41}{1{,}41}}\right]}$$

$$= 510 \text{ m pro Sekunde.}$$

Diese Geschwindigkeit wird nur an einer sehr kleinen Stelle unmittelbar an der Oberfläche der Elektrode vorhanden sein, sie wird sich sehr rasch mässigen, da durch Reibung benachbarte ruhende Luftmassen mitgerissen werden, und wird in grösserer Entfernung kaum mehr fühlbar sein.

Bei Versuchen von Kämpfer[2]) war bei einem S-förmigen Flugrad von 48,15 mm Radius die an jedem Ende angreifende Kraft = 12,1 Milligramm $= 12{,}1 \cdot 10^{-6}$ Kilogramm.

Bezeichnet q den Querschnitt der bewegten Luftmasse an der Spitze in Quadratmetern, so müsste, wenn die Spannung 10000 Volt gewesen wäre,

$$\frac{12{,}1 \cdot 10^{-6}}{q} = 85{,}7 \cdot 10333 \text{ kg pro Quadratmeter,}$$

somit

$$q = 1{,}37 \cdot 10^{-11} \text{ qm}$$

gewesen sein.

Bei Versuchen von v. Obermayer und v. Pichler[3]) betrug bei einer Stromstärke von $12{,}5 \cdot 10^{-5}$ Ampère bei vier in 4 mm Abstand im Quadrat stehenden Spitzen die Geschwindigkeit des elektrischen Windes in 4 cm Entfernung 20,3 m pro Sekunde, in 2,04 m Entfernung bei etwa 26 cm Breite des Luftstromes etwa 1 m pro Sekunde.

Der Querschnitt des Luftstromes in 2,04 m Entfernung von der Spitze wäre hiernach

$$\pi \cdot 0{,}13^2 = 0{,}053 \text{ qm,}$$

somit der Querschnitt des von einer Spitze ausgehenden kegelförmigen Luftstromes in 2,04 m Entfernung

$$= 0{,}014 \text{ qm}$$

und in 0,04 m Entfernung

$$= 0{,}014 \cdot \frac{0{,}04^2}{2{,}04^2} = 5{,}38 \cdot 10^{-6} \text{ qm.}$$

1) Zeuner, Techn. Thermodynamik I, S. 223.

2) Kämpfer, Wied. Ann. **20**, 604, 1883.

3) v. Obermayer und v. Pichler, Ber. d. Wien. Akad. 1886, März.

Wäre der Querschnitt wie bei den **Kämpfer**'schen Versuchen unter Annahme der Spannung von 10000 Volt zu $1{,}37 \cdot 10^{-11}$ qm berechnet gewesen, so müsste in der Entfernung 4 cm von der Spitze die kinetische Energie der bewegten Luft auf eine $\frac{5{,}38 \cdot 10^{-6}}{1{,}37 \cdot 10^{-11}} = 3{,}93 \cdot 10^5$ mal so grosse Masse übertragen, somit die ursprüngliche Geschwindigkeit von 510 m pro Sekunde auf

$$510 \sqrt{\frac{1}{3{,}93 \cdot 10^5}} = 0{,}815 \text{ m pro Sekunde}$$

reduzirt sein.

In 2,04 m Abstand müsste die Geschwindigkeit auf 0,016 m pro Sekunde vermindert sein.

Diese Geschwindigkeiten sind bedeutend geringer als die thatsächlich von v. **Obermayer** und **Pichler** beobachteten, doch wurde vorausgesetzt, dass die Spannung nur 10000 Volt gewesen sei, was bei der hohen Stromstärke, welche bei den fraglichen Versuchen angewandt war, wohl viel zu gering angenommen ist.

Die Stromstärke liesse sich aus der Geschwindigkeit und dem Querschnitt des elektrischen Windes, d. h. aus dem pro Sekunde abgeströmten Luftquantum berechnen, wenn man die Kapazität der Luftmoleküle kennen würde.

Ist die „**Valenzladung**" eines Sauerstoffatoms $= 2{,}5 \cdot 10^{-19}$ Coulomb und die Zahl der in einem Kubikmeter leuchtenden Gases enthaltenen dissoziirten Moleküle $= 1{,}29 \cdot 10^{13}$, so wäre die von einem Kubikmeter Luft (von gleicher Beschaffenheit wie unmittelbar an der glimmenden Spitze) transportirte Elektrizitätsmenge

$$2{,}5 \cdot 10^{-19} \cdot 1{,}29 \cdot 10^{13} = 3{,}21 \cdot 10^{-6} \text{ Coulomb.}$$

Nimmt man wie oben an, die Strömungsgeschwindigkeit der Luft unmittelbar an der Spitze betrage 510 m pro Sekunde und der Querschnitt des Luftstrahls sei $1{,}37 \cdot 10^{-5}$ qm, so ist die pro Sekunde abgeströmte Luftmenge

$$1{,}37 \cdot 10^{-5} \cdot 510 = 7 \cdot 10^{-3} \text{ cbm}$$

und die Elektrizitätsmenge, welche dieselbe transportirt,

$$7 \cdot 10^{-3} \cdot 3{,}21 \cdot 10^{-6} = 2{,}25 \cdot 10^{-8} \text{ Coulomb,}$$

somit die Stromstärke

$$= 2{,}25 \cdot 10^{-8} \text{ Ampère.}$$

Bei den mit jedenfalls viel grösserer Spannung ausgeführten Versuchen von v. **Obermayer** und **Pichler** betrug dieselbe pro Spitze $3{,}1 \cdot 10^{-5}$ Ampère, die Uebereinstimmung ist also keine besonders gute, kann aber hinsichtlich der Unsicherheit der benutzten Werthe für die Zahl der dissoziirten Moleküle pro Kubikmeter und die Valenzladungen als befriedigend gelten.

An der Oberfläche der Elektroden und in der Nähe derselben, wo entgegengesetzt elektrische Atome in grösserer Zahl zusammentreffen und sich zu unelektrischen Molekülen vereinigen, entsteht Wärme und Licht. Die gesammte, als Wärme und Licht auftretende Energie entspricht der durch Wiedervereinigung der Atome verschwindenden potentiellen elektrischen Energie.

Der Einfachheit halber werde angenommen, das Gas sei nicht Luft, sondern Wasserstoff und zur Zersetzung von 1 g sei eine Wärmemenge von 126 Kalorien nothwendig[1], und 1 Kubikmeter glimmendes Gas enthalte $1{,}29 \cdot 10^{13}$ dissoziirte Moleküle. Nach Obigem gehen von der glimmenden Elektrode pro Sekunde $7 \cdot 10^{-3}$ Kubikmeter Gas aus, somit

$$7 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}29 \cdot 10^{13} = 9{,}03 \cdot 10^{10}$$

dissoziirte Moleküle. Da nun 1 g $0{,}2 \cdot 10^{24}$ Moleküle enthält, also 1 Molekül $5 \cdot 10^{-24}$ g wiegt, muss die durch Rückbildung der dissoziirten Moleküle entstehende Wärmemenge

$$9{,}03 \cdot 10^{-10} \cdot 5 \cdot 10^{-24} \cdot 126 = 5{,}7 \cdot 10^{-11} \text{ Kalorien}$$

pro Sekunde betragen.

Da die Stromstärke, wie oben berechnet, $2{,}25 \cdot 10^{-8}$ Ampère, die Spannung 10000 Volt beträgt, muss die entwickelte Wärmemenge sein:

$$\frac{10000 \cdot 2{,}25 \cdot 10^{-8}}{9{,}81 \cdot 430} = 0{,}53 \cdot 10^{-7} \text{ Kalorien.}$$

Davon entfällt die Hälfte auf die Umgebung der Elektrode, die andere Hälfte auf den Ort, wo die Kraftlinien endigen. Die Wärmeentwickelung an der Elektrode müsste also eigentlich sein $2{,}6 \cdot 10^{-8}$ Kalorien, d. h. erheblich grösser als die mit dem Verlust an potentieller Energie der Moleküle berechnete.

Zu besserer Uebereinstimmung gelangt man, wenn man annimmt, die entgegengesetzt elektrischen Atome legten sich bei der Bildung unelektrischer Moleküle nicht einfach aneinander, sondern es trete völliger Ausgleich der Ladungen ein.

Ein kugelförmiger Konduktor von $0{,}7 \cdot 10^{-10}$ Meter Radius hat eine Kapazität von

$$\frac{0{,}7 \cdot 10^{-10}}{9 \cdot 10^{9}} \text{ Farad,}$$

muss also, damit er, wie dies bei einem Wasserstoffatom angenommen wurde, $1{,}25 \cdot 10^{-19}$ Coulomb aufnehmen kann, auf

$$\frac{1{,}25 \cdot 10^{-19} \cdot 9 \cdot 10^{9}}{0{,}7 \cdot 10^{-10}} = 16 \text{ Volt}$$

Spannung geladen werden, wozu

$$\frac{16 \cdot 1{,}25 \cdot 10^{-19}}{2 \cdot 9{,}81} = 1{,}02 \cdot 10^{-19} \text{ Kilogrammmeter}$$

Arbeit erforderlich sind.

Die bei gegenseitiger Entladung zweier Wasserstoffatome entstehende Wärmemenge würde demnach

$$\frac{2{,}04 \cdot 10^{-19}}{430} = 4{,}74 \cdot 10^{-22} \text{ Kalorien}$$

---

1) Vgl. S. 128 u. 129 und O. L., Elektrizität und Licht, S. 176.

betragen, und die pro Sekunde im Falle der Glimmentladung auftretende Wärmemenge

$$4{,}74 \cdot 10^{-22} \cdot 9{,}3 \cdot 10^{10} = 4{,}28 \cdot 10^{-11} \text{ Kalorien.}$$

Dieser Werth stimmt mit dem theoretisch nothwendigen $5{,}7 \cdot 10^{-11}$, wohl nur zufällig, sehr gut überein.[1])

20. Die Pulsationen.

Erscheint nun nach dem Dargelegten die Annahme, das Wesen des disruptiven Entladungsprozesses bestehe in einer Zertrümmerung der Moleküle in elektrisch geladene Atome, Ionen, zur Erklärung des Verhaltens des elektrischen Windes wohl brauchbar und zureichend, so gilt dies nicht ohne Weiteres in Bezug auf den Verlauf des Entladungsprozesses.

Ein Körper, welcher zerrissen wurde, muss erst wieder hergestellt werden, ehe er aufs neue zerrissen werden kann. Wir sollten also erwarten, dass nach eingetretener Entladung zunächst eine Pause entsteht und erst nach Ablauf einer gewissen Zeit, nachdem sich die zerstörten Moleküle zurückgebildet haben, abermals Entladung eintreten kann.

Von derartigen Pulsationen ist aber bei der Glimmentladung nichts zu bemerken.

Faraday[2]) schreibt diesbezüglich: „Ich war niemals im Stande das Glimmlicht zu analysiren oder in sichtbare elementare, intermittirende Entladungen aufzulösen, noch auch das andere Merkmal von der Intermittenz des Vorganges, nämlich einen deutlichen Ton zu erhalten. Dass die Bemühungen, dies sichtbar zu machen, erfolglos blieben, mag von der beträchtlichen Grösse des Glimmlichts herrühren, die die Trennung in sichtbare Bilder verhindert, und in der That, wenn eine Intermittenz stattfindet, ist es nicht wahrscheinlich, dass alle Theile auf einmal und regelmässig in gleichen Zeiten intermittiren."

Wir müssen uns also nach Faraday vorstellen, dass auch dann, wenn den Elektroden stetig Elektrizität zufliesst, die Entladung pulsirt, indem bald an diesem, bald an jenem Punkte der Elektrodenoberfläche zuerst der Entladungsgradient erreicht wird und diese Einzelentladungen sich so rasch folgen, dass ein stetiger Strom in der Leitung zu Stande kommt, wie in der Wasserleitung einer Stadt, wo doch die Wasserhähne im Allgemeinen nicht dauernd geöffnet sind, sondern bald da, bald dort ein solcher in Gebrauch genommen und wieder geschlossen wird.

1) A. Föppl, Wied. Ann. **34**, 222, 1888, versucht ebenfalls eine Theorie der elektrischen Konvektion zu geben, auf welche hier nur verwiesen werden kann.

2) Faraday, Experimentaluntersuchungen, § 1536, 1838.

Durch diesen Erklärungsversuch wird indess die Schwierigkeit nicht beseitigt. Man könnte sich davon leicht mittelst des Drehspiegels überzeugen, indem man mittelst eines spaltförmigen Diaphragmas einen Streifen des Glimmlichts optisch absondert und den Drehspiegel um eine dazu parallele Achse in Rotation versetzt, so dass der Lichtstreifen sich scheinbar zu einem Band verbreitert. Würde die Entladung nur bald da bald dort aufblitzen, so könnte das Band nicht gleichförmig hell erscheinen.[1])

Immerhin wird die Faraday'sche Vorstellungsweise zutreffend sein für das Zerfallen der einzelnen Moleküle.

Man kann sich denken, dass von den unermesslich zahlreichen Gasmolekülen, die auf ihrer Wanderung in die Nähe der glimmenden Spitze kommen, einmal dieses, dann jenes, je nachdem es durch eine vorangegangene heftige Erschütterung zufällig besonders dazu disponirt ist, durch die Kraft des elektrischen Feldes zerrissen wird und die entstandenen Ionen eine Zeit lang sich nach entgegengesetzten Richtungen weiter bewegen, bis sie zufällig auf entgegengesetzt elektrische andere stossen, mit welchen sie sich wieder zu unelektrischen Molekülen vereinigen.

So wird scheinbar eine kontinuirliche Entladung zu Stande kommen, während in Wirklichkeit nur eine Summe sehr zahlreicher Einzelentladungen vorhanden ist.

Jedes zerfallende Molekül verbraucht ein gewisses Quantum elektrischer Energie, die Spannung wird also entsprechend sinken und es wird von der mehr oder minder reichlichen Zufuhr von Energie abhängen, wie viele Moleküle in der Zeiteinheit zerrissen werden, obschon die Spannung nicht über den Werth anwachsen kann, der durch die dielektrische Festigkeit der Moleküle, d. h. den Entladungsgradienten gegeben ist.

Der Durchgang des Stromes folgt also nicht dem Ohm'schen Gesetz, denn Erhöhung der Stromstärke bedingt nicht entsprechende Erhöhung der Elektrodenspannung, sondern nur entsprechende Vermehrung der Zahl zersetzter Moleküle.

Es gilt dies selbst dann noch, wenn die Entladung nicht in der Nähe der Elektrodenoberfläche ein Ende nimmt und sich als elektrischer Wind fortsetzt, sondern wenn sie als Büschel- oder Streifenentladung, wie bei den in den Figg. Taf. I gezeichneten Fällen, den ganzen Raum zwischen beiden Elektroden erfüllt. Bei den genannten Versuchen wurde beispielsweise die Stromstärke von 14 bis 170000 Millionstel Ampère geändert; dabei ging die Spannungsdifferenz der Elektroden zwar zunächst von 800 auf 300 Volt herunter, stieg dann aber wieder auf 920, d. h. die Spannung war von der Stromstärke unabhängig, denn die kleinen Aenderungen erklären sich vollkommen durch die Aenderungen der Temperatur und der chemischen Beschaffenheit des Gases. Aehnliche Versuche, welche zum Nachweis der Konstanz der Elektroden-

1) Derartige Versuche sind von Wüllner, Pogg. Ann. Jubelb. 1874 ausgeführt worden.

spannung zuerst von Edlund (1867) ausgeführt worden sind, finden sich in der Litteratur in Menge.[1])

Aus der Konstanz der Elektrodenspannung ergiebt sich ohne Weiteres,[2]) dass die Entladungswärme nicht der zweiten, sondern der ersten Potenz der Stromstärke proportional sein muss, was durch ältere Versuche von G. Wiedemann, sowie durch neuere von Paalzow und Neesen[3]) als thatsächlich zutreffend erwiesen wurde.

Untersuchen wir nun, wie gross muthmasslich die Dauer einer Partialentladung speziell im Falle eines Kondensators unseren Annahmen zufolge sein muss.

Findet die Entladung des Kondensators durch langsame Strömung im Dielektrikum statt, so ist deren Dauer bestimmt durch die Grösse des Widerstandes.

Dieser setzt sich im Allgemeinen aus zwei Theilen zusammen, dem Ohm'schen Widerstand und dem induktiven, durch die Selbstinduktion bedingten. Am einfachsten gestaltet sich die Rechnung, wenn keine Selbstinduktion vorhanden ist, d. h. wenn der Kondensator die Form eines Kugelkondensators hat und der Ausgleich der Ladungen nicht durch Drähte, welche die beiden Belegungen verbinden, stattfindet, sondern durch das Dielektrikum selbst und zwar an allen Stellen gleichmässig, wie es beispielsweise im Falle des Jodsilberkondensators (S. 124) durch Erhöhung der Temperatur oder des Druckes, welche eine plötzliche Umwandlung der hexagonalen Modifikation des Jodsilbers in die reguläre bewirkt,[4]) geschehen würde.

In diesem Falle decken sich überall die Stromlinien mit den Linien der dielektrischen Rückverschiebung, es kann also kein magnetisches Feld auftreten und somit auch keine Selbstinduktion.

Beträgt nun der Widerstand des regulären Jodsilbers W Ohm, so ist die mittlere Stromstärke, da die Spannungsdifferenz der Belegungen von E bis O Volt sinkt, also durchschnittlich $\frac{E}{2}$ Volt beträgt, $\frac{E}{2 \cdot W}$ Ampère, somit, wenn T die Dauer der Entladung in Sekunden, die ganze Elektrizitätsmenge $\frac{E \cdot T}{2 \cdot W}$ Coulomb und die Entladungsarbeit $\frac{1}{4g} \cdot \frac{E^2 \cdot T}{W}$ Kilogrammmeter. Da diese gleich der gesammten aufgespeicherten Energie A sein muss, folgt:

---

1) Führt man soviel Elektrizität zu, dass doch die Elektrodenspannung über das Entladungspotential hinausgeht, so soll nach Jaumann (Wien. Ber. **97** (2) 1587, 1889) die Stromstärke sehr schnell anwachsen. Bei meinen Versuchen (im luftverdünnten Raum) bewirkte im Gegentheil stärkere Elektrizitätszufuhr nicht Erhöhung, sondern Sinken der Elektrodenspannung. Vgl. auch C. F. Varley (Proc. Roy. Soc. **19**, 236, 1871) und auch weiter unten.

2) Vgl. O. L., Elektrizität und Licht, S. 304, § 175.

3) Paalzow und Neesen, Wied. Ann. **56**, 276, 1895.

4) Wegen der nöthigen Entziehung oder Zufuhr der Umwandlungswärme u. dgl. kann dies allerdings nicht momentan geschehen.

$$T = \frac{4g \cdot A \cdot W}{E^2} \text{ Sekunden.}$$

Diese Formel gestattet die Zeit zu berechnen, in welcher die Ladung des Kondensators verschwindet. Setzt man den spez. Widerstand des regulären Jodsilbers pro Kubikmeter = 0,0047 Ohm, so ist

$$W = 0{,}0047 \cdot \frac{0{,}04}{0{,}04} = 0{,}0047 \text{ Ohm,}$$

also, falls die Dielektrizitätskonstante des hexagonalen Jodsilbers gleich der oben angenommenen für Kautschuk wäre,

$$T = \frac{4 \cdot 9{,}81 \cdot 8 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}0047}{25\,000^2} = 0{,}237 \cdot 10^{-12} \text{ Sekunden}$$
$$= 0{,}237 \text{ Billionstel Sekunden.}$$

Die in dieser kurzen Zeit verschwindende elektrische Energie tritt vollständig wieder in Form von Wärme auf, falls die Belegungen aus Silber bestehen (so dass keine chemische Aenderung auftreten kann), und zwar beträgt die entwickelte Wärmemenge

$$\frac{A}{427} = \frac{8 \cdot 10^{-4}}{427} = 1{,}83 \cdot 10^{-6} \text{ Kalorien} = 1{,}83 \text{ Mikrokalorien.}$$

Diese Wärme erscheint gewissermaassen als Reibungswärme in der Masse des Jodsilbers und bewirkt eine Temperaturerhöhung derselben um

$$\frac{1{,}83 \cdot 10^{-6}}{1{,}6 \cdot 5{,}6 \cdot 0{,}0577} = 3{,}54 \cdot 10^{-6} \text{ Grad Celsius,}$$

da die spezifische Wärme des regulär krystallisirten Jodsilbers 0,0577 beträgt.

A. Disruptive Entladung.

Befände sich statt des Jodsilbers Luft zwischen den beiden Belegungen und würde man die elektrische Festigkeit derselben durch Verdünnung mittelst der Luftpumpe mehr und mehr vermindern, so würde bei einem bestimmten Verdünnungsgrade plötzlich Entladung erfolgen und ähnlich wie im vorigen Falle würde fast momentan die aufgespeicherte Energie in Wärme übergehen. In diesem Falle lässt sich indess die Dauer der Entladung nicht nach der vorigen Formel bestimmen, da es für zerreissende Entladung einen Widerstand im Sinne des Ohm'schen Gesetzes nicht giebt. Auch wird nicht die ganze aufgespeicherte Energie umgewandelt werden, da mit dem Verschwinden der Ladung die Spannungsdifferenz der Belegungen sinkt, so dass schliesslich die Intensität des Feldes nicht mehr zureicht die elektrische Festigkeit des Mediums zu überwinden, obschon dieselbe durch die Entladung selbst bedeutend geschwächt wird.

Um einen Anhaltspunkt zu gewinnen, ob die disruptive Entladung absolut momentan stattfindet oder (wie die elektrolytische) eine endliche, wenn auch äusserst kleine Zeit beansprucht, kann man berücksichtigen, dass das Resultat des Entladungsprozesses Wärme ist, welche nach der kinetischen Gastheorie in einer Bewegung der Moleküle besteht.

Die Entladung wird sich also nicht im reinen Aether vollziehen können, sondern nothwendig die Anwesenheit ponderabler Moleküle erfordern. Nach der oben dargelegten Anschauungsweise wird das Wesen des Prozesses darin bestehen, dass die entgegengesetzt elektrischen Atome entgegen der chemischen (elektrischen) Anziehungskraft auseinander gerissen werden, so dass Arbeit geleistet wird, welche sich zunächst als potentielle Energie aufspeichert, aber alsbald wieder in Form von Wärme und Licht zum Vorschein kommt, sobald zwei getrennte entgegengesetzt elektrische Atome sich bei ihrer Bewegung begegnen und ein neues Molekül bilden. Wegen der Trägheit der ponderabeln Atome beansprucht das Auseinanderreissen derselben Zeit, die elektrische Energie wird sich also nicht momentan entladen können, wenn auch sehr viel rascher als auf dem Wege der elektrolytischen Leitung, wobei die elektrischen Atome wandern müssen und in Folge des durch die häufigen

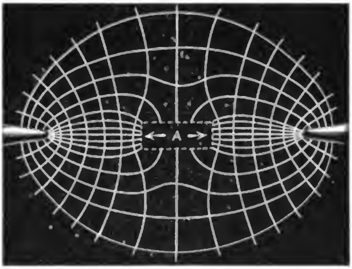


Fig. 108.

Zusammenstösse mit andern bedingten grossen Reibungswiderstandes nur äusserst langsam vorankommen.

Faraday[1]) sagt bezüglich der Entladungsdauer: „In einem Funken ist die Polarisation der Theilchen in der Entladungslinie, den Bedingungen gemäss, von nahezu gleicher Intensität, und die Entladung erfolgt daher so nahezu in demselben Moment, dass wir eine Zeit gar nicht wahrzunehmen vermögen."

In ähnlichem Sinne äussern sich auch Hertz, J. J. Thomson und Paalzow und Neesen.[2]) An jeder Stelle, wo Entladung stattfindet, ist die erforderliche Energie in Form dielektrischer Polarisation bereits angehäuft, sie kann also fast momentan verschwinden, schneller als irgend eine Aenderung in dem umgebenden Felde möglich ist. Es verschwindet in der von Entladung begriffenen Gasmasse plötzlich die gesammte elektrische Energie, indem sie in Wärme übergeht, während ringsum zunächst alles unverändert bleibt.

---

1) Faraday, S. 412, 1437.

2) Paalzow und Neesen, Wied. Ann. **56**, 276, 700, 1895.

Der Einfachheit halber möge angenommen werden, die Entladung finde zwischen vollkommen isolirenden Elektroden statt. Es seien etwa Jodsilberelektroden, die zum Zweck der Ladung bis zur Umwandlung in die reguläre Modifikation erhitzt worden sind und nach vollzogener Bildung des elektrischen Feldes sich durch Abkühlung in die isolirende hexagonale Modifikation zurückverwandelt haben.

Tritt nun, etwa in dem Raume A (Fig. 108) Entladung ein,[1]) so verschwindet dort momentan der Polarisationszustand, indem die Kraftröhren an einer Stelle zerreissen und sich sofort bis auf die Oberfläche der Elektroden zusammenziehen, daselbst nach aussen unwirksame Doppelschichten bildend.

Natürlich kann das entstandene „Loch" im elektrischen Felde, um mich kurz auszudrücken, nicht bestehen bleiben.

Die angrenzenden Kraftlinien rücken nach, so rasch es gemäss den Regeln für die Fortpflanzung elektrischer Störungen möglich ist,[2]) und nach Wiederherstellung des Gleichgewichts wird die Beschaffenheit des Feldes die in Figur 109 skizzirte sein.

Die Folge dieses Nachrückens der Kraftlinien ist, dass nun eine Störung des Kraftlinienverlaufs mit der Geschwindigkeit von $3 \cdot 10^8$ m längs der Drahtleitung nach beiden Seiten fortschreitet, bis die beiden Wellen stark abgeschwächt, schliesslich in der Mitte zusammentreffen und sich gegenseitig aufheben.

---

1) Was bei der in der Figur angenommenen Vertheilung der Kraftlinien voraussetzen würde, dass dort plötzlich die dielektrische Festigkeit (etwa durch Erhitzen oder Durchleiten von Wasserstoff u. s. w.) verändert wurde.

2) Das Nachdrängen der Kraftröhren an die Stelle der verschwundenen findet nach Maxwell in Folge des Druckes statt, welchen die Kraftlinien senkrecht zu ihrer Oberfläche gegenseitig auf einander ausüben und welcher an einer Stelle des Feldes, wo die Intensität H Kilogramm pro $\frac{g}{9 \cdot 10^9}$ Coulomb beträgt, sich bestimmt durch die Formel:

$$K = \frac{a}{8\pi} \cdot H^2 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot H^2}{8 \cdot \pi \cdot g} \text{ Kilogramm pro Quadratmeter,}$$

d. h. derselbe ist gleich der Energiemenge pro Kubikmeter in Kilogrammmetern.

H. Ebert und E. Wiedemann berechnen diesen Druck für den Fall, dass das Feld erzeugt wird durch zwei Kondensatorplatten von 0,1 m Radius in 0,45 m Entfernung bei einer Spannungsdifferenz von 1200 Volt. Es ist dann, wenn h die Flächendichte bedeutet:

$$H = 4 \cdot \pi \cdot h = 4\pi \cdot \frac{Q}{F},$$

wobei die Ladung des Kondensators

$$Q = \frac{0{,}1^2 \cdot 1200}{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 0{,}45} \text{ Coulomb,}$$

und die Fläche, auf welche diese Ladung vertheilt ist,

$$F = 3{,}14 \cdot 0{,}1^2 \text{ Quadratmeter}$$

beträgt, somit

$$H = \frac{1200}{9 \cdot 10^9 \cdot 0{,}45} = 0{,}296 \cdot 10^{-6} \text{ Kilogramm pro } \frac{g}{9 \cdot 10^9} \text{ Coulomb.}$$

Hier war also der Druck

$$K = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 0{,}296^2 \cdot 10^{-12}}{8 \cdot 3{,}14 \cdot 9{,}81} = 0{,}32 \cdot 10^{-5} \text{ Kilogramm pro Quadratmeter.}$$

Der Fall ist ganz analog der Störung, welche eintreten würde, wenn ein an Stelle der Batterie gedachtes Pumpwerk in zwei die Leitung darstellenden Kanälen eine Niveaudifferenz erzeugt hätte und nun die Kanäle plötzlich durch Wegräumung des Hindernisses zwischen ihren Enden in Verbindung gesetzt würden. In dem Kanal mit hohem Wasserstand würde dann eine Senkung des Wasserspiegels fortschreiten, im anderen eine Erhöhung, bis sich beide begegnen und damit der Ausgleich der Niveaudifferenz vollzogen ist.

Nehmen wir nun an, wie es thatsächlich der Fall ist, das hexagonal krystallisirte Jodsilber, aus welchem unsere Elektroden bestehen, sei kein absolut vollkommener Isolator, so wird das in Fig. 109 gezeichnete Feld nicht bestehen bleiben können. Die an Ionen angehefteten Kraftlinien haben das Bestreben sich zu verkürzen und wieder in die in Fig. 33 S. 36 gezeichnete normale Lage zu gelangen. Es wird somit nun ein Wandern der Kraftröhren

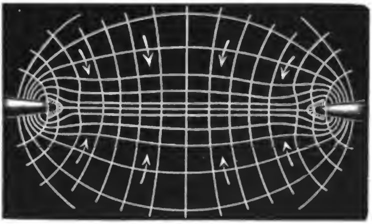


Fig. 109.

längs der Zuleitungen eintreten, welches natürlich gleichzeitig mit Ausbreitung der elektrischen Wellen beginnt, ein Strömen der Ionen längs der Oberfläche und auch von der Oberfläche (wo sie angehäuft waren, solange Gleichgewicht bestand) durch das Innere der Zuleitungen, bis die an den Enden der Elektroden entstandenen Lücken wieder ausgefüllt sind. Es entsteht, kurz gesagt, ein Leitungsstrom, in welchem die gleiche Elektrizitätsmenge fliesst, die vorher im Funken zur Entladung gelangt war und dieser Strom wird beendet sein, sobald das Entladungsgefälle an den Elektroden wieder erreicht ist.

Dabei ist natürlich vorausgesetzt, dass entsprechend dem Pumpwerk in dem oben betrachteten Gleichniss, welches die Niveaudifferenz am Ursprung der beiden Kanäle konstant erhält, in unsere elektrische Leitung ein Elektrizitätsgenerator, eingeschaltet ist, welcher die Spannungsdifferenz am Ursprung der Zuleitungen zu den Elektroden auf gleichbleibender Höhe erhält.

B. Die Selbstinduktion.

Oben S. 140 wurde vorausgesetzt, dass die Entladung gleichmässig an der ganzen Oberfläche der Belegungen des Kondensators eintrete. Ist dies nicht der Fall, wie in dem eben betrachteten Beispiel, so

kommen besondere Störungen hinzu durch die Wirkung der Selbstinduktion d. h. in Folge der Bildung eines magnetischen Feldes durch den soeben betrachteten, der Funkenentladung unmittelbar folgenden Ladestrom der Elektroden.

Man kann die Nothwendigkeit solcher Störungen schon bei dem Mechanismus Fig. 110 erkennen, wenn man die Stangen nicht mit gleicher Geschwindigkeit verschoben denkt, sondern beispielsweise nur eine derselben, während die übrigen ruhen. Deutlicher ist die Natur dieser Störungen erkennbar bei dem in Fig. 110 dargestellten ähnlichen Mechanismus.[1]) An Stelle der verschiebbaren Stangen sind hier frei bewegliche Rollen, Maxwell's „Zwischenkörperchen" gesetzt, die sich an elastischen Riemen reiben, welche je um sechs feststehende Rollen gelegt sind. Verschiebt sich nur die unterste Reihe der Zwischenkörperchen im Sinne der Pfeile, so kommen die angrenzenden Riemen in Drehung und setzen selbst wieder weitere Zwischenkörperchen in Bewegung, die nunmehr die Bewegung auf die folgende Reihe

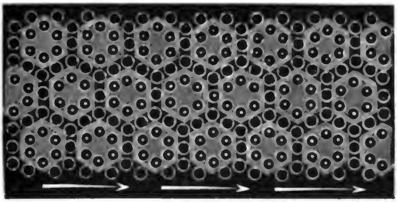


Fig. 110.

von Riemen übertragen u. s. w. Ueberträgt man die Betrachtung auf den Raum, d. h. denkt man sich den durch Pfeile angedeuteten Strom ringsum von derartigen Riemen umgeben, welche sich zu ringförmigen, den Strom umgebenden elastischen Röhren zusammenschliessen (wobei natürlich die Rollen im Innern in Wegfall kommen), so ist leicht ersichtlich, dass durch den beginnenden Strom alle diese Ringe in Rotation versetzt werden. Ein Theil der verloren gehenden Energie wird in diesem Falle nicht in Wärme, sondern in Energie eines unsichtbaren Bewegungszustandes des Aethers, in „magnetische Energie" umgesetzt.

C. Die Wirbelenergie.

Die Grösse der Bewegungsenergie eines rotirenden Körpers von der Form eines hohlen Ringes, dessen Theilchen allenthalben die gleiche Geschwindigkeit haben, lässt sich leicht berechnen. Ist H diese Geschwindigkeit und m die Masse des Körpers, so ist die kinetische Energie.

$$A = \frac{1}{2} \cdot m \cdot H^2 \text{ Kilogrammmeter.}$$

1) Ueber andere Modelle siehe Lodge, Neueste Anschauungen über Elektrizität, Leipzig, Barth, 1896, S. 224 u. ff. und Ebert, Magnetische Kraftfelder, 1897.

Nach dem bekannten Grundgesetz $p = m \cdot g$ wechselt der Werth der Masse eines Körpers, wenn man als Krafteinheit das Kilogramm benutzt, mit dem Orte, wo man sich befindet. Die Formel sagt nämlich aus, die Masse von p Kilogrammstücken sei der $g$te Theil ihres Gewichtes p. Dieses Gewicht ist aber überall dasselbe, weil da, wo es auf eine feste Einheit bezogen grösser wäre, der Werth der Gewichtseinheit des Kilogramms ebenfalls entsprechend grösser ist. Der $g$te Theil von p ist also veränderlich entsprechend den Veränderungen von g.

Gleiches gilt für die Dichte ϱ d. h. die Masse pro Kubikmeter. Sie ist ebenfalls umgekehrt proportional zu g, so dass man setzen kann $\varrho = \frac{\varrho'}{g}$, wobei ϱ' eine wirkliche Konstante, nämlich $\frac{p}{v}$ d. h. die in einem Kubikmeter enthaltenen Kilogrammmassen bedeutet. Der reziproke Werth $\frac{1}{\varrho'} = \frac{v}{p} = s$ ist das Volumen, welches eine Kilogrammmasse der Substanz erfüllt. Es ist also

$$m = v \cdot \varrho = \frac{v}{g \cdot s} \text{ und}$$

$$A = \frac{1}{2\,g} \cdot \frac{v}{s} \cdot H^2 \text{ Kilogrammmeter.}$$

Auch diese Formel hat grosse Aehnlichkeit mit den S. 32 gegebenen für die elastische und elektrische Energie. An Stelle der elastischen Spannung bezw. elektrischen Feldstärke tritt hier die Geschwindigkeit der Bewegung.

Bestände beispielsweise der rotirende ringförmige Schlauch aus Kautschuk, dessen Volum $= 16 \cdot 10^{-4}$ Kubikmeter und dessen spezifisches Gewicht $= 1$ gesetzt werden kann, so wäre, wenn derselbe mit der Geschwindigkeit 1 Dezimeter per Sekunde in Rotation gesetzt werden soll, die dazu erforderliche Arbeit oder die in ihm aufgespeicherte Bewegungsenergie, da $s = 10^{-3}$ ist

$$A = \frac{16 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 9{,}81 \cdot 10^{-3}} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ Kilogrammmeter per Sekunde.}$$

D. Die magnetische Energie.

Dass nun thatsächlich in der Nähe eines elektrischen Stromes im Aether unsichtbare Bewegungsvorgänge von der Art der besprochenen Rotationen verlaufen, dafür spricht das Auftreten magnetischer Kraftlinien in der Nähe des Stromleiters, welche denselben ringförmig umschliessen.

Den Verlauf dieser Kraftlinien für eine ringförmige Drahtrolle, sichtbar gemacht durch Eisenfeilspäne, welche auf eine über die Drahtrolle geschobene weisse Holztafel gestreut wurden, zeigt Fig. 111. Für einen gradlinigen Stromleiter liegen die Kreise zu diesem konzentrisch.

Wieviel Energie in diesem magnetischen Feld aufgespeichert ist, lässt sich genau ermitteln, wenn man die ponderomotorischen Wirkungen in Betracht zieht, welche ganz mit denjenigen rotirender elastischer Ringe übereinstimmen.

In Folge der Zentrifugalkraft suchen sich die Theilchen eines solchen Ringes von der Rotationsachse zu entfernen, d. h. der Ring hat das Bestreben dicker zu werden und gleichzeitig sich zusammen zu ziehen. Ebenso können alle magnetischen Kraftwirkungen kurz in der Weise beschrieben werden, dass

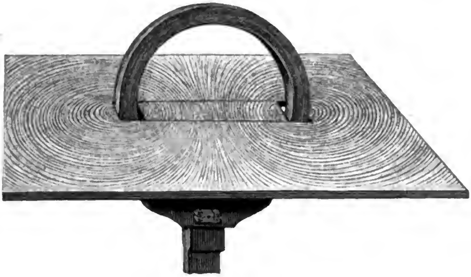


Fig. 111.

man sagt, die magnetischen Kraftlinien haben das Bestreben sich der Länge nach zusammenzuziehen und seitlich auszudehnen.

Bringt man beispielsweise in das Innere einer stromdurchflossenen Drahtspule Fig. 112 einen um seine Achse drehbaren, an beiden Enden geschlossenen

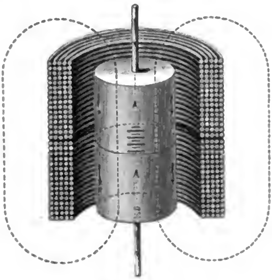


Fig. 112.

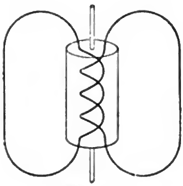


Fig. 113.

Kupfercylinder, so wird sich um diesen, falls man in der Richtung der Achse, wie die Pfeile andeuten, Strom hindurch leitet, ein magnetisches Feld bilden, dessen Kraftlinien konzentrische Kreise um den Cylinder sind. Die Drahtspule erzeugt ebenfalls ein magnetisches Feld, dessen Kraftlinien verlaufen wie die beiden punktirt gezeichneten Linien. Beide Felder setzen sich zusammen zu einem neuen Feld, dessen Kraftlinien im Innern des Cylinders, wie die der

Drahtspule allein, gradlinig verlaufen, während sie ausserhalb spiralig gekrümmt sind.

Würde die Stromquelle (etwa eine Akkumulatorenbatterie), wie schematisch angedeutet, im Innern des Cylinders angebracht, so wäre das von ihr erzeugte Magnetfeld vollständig im Innern des Cylinders enthalten, wieder in Form ringförmiger zur Achse konzentrischer Kraftlinien, und die Kraftlinien des resultirenden Feldes würden verlaufen wie Fig. 113 zeigt, d. h. ausserhalb des Cylinders, so wie die der Drahtrolle allein, innerhalb spiralig gewunden, so dass sie in Folge ihres Kontraktionsbestrebens die beiden Endscheiben in entgegengesetzter Richtung in Drehung zu versetzen, den Cylinder somit zu tordiren versuchen.

In gleicher Weise ergiebt sich die Wirkung von Strömen auf Magnetpole oder von Magnetpolen auf einander aus dem Bestreben der Kraftlinien sich zu verkürzen und ihren Querschnitt zu vergrössern. Die Fundamentalgesetze dieser Wirkung stimmen genau überein mit den bezüglich der elektrischen Kraftlinien gültigen, so dass auch die Formel für die Energie eines magnetischen Feldes genau übereinstimmen muss mit derjenigen eines elektrischen Feldes.

Sie lautet:[1])

$$A = \frac{10^7}{8\pi \cdot g} \cdot \frac{v}{\mu} \cdot H^2 \text{ Kilogrammmeter}$$

wenn mit H die Intensität des magnetischen Feldes in Kilogramm pro $g/10$-Mikroweber und mit μ die der Dielektrizitätkonstante entsprechende „magnetische Permeabilität“ bezeichnet wird.

Wäre beispielsweise statt der oben betrachteten Kautschuk- oder Jodsilberplatte eine Eisenplatte von gleichen Dimensionen gegeben, welche durch einen um ihren Rand geleiteten elektrischen Strom derart magnetisirt wird, dass sich auf jeder Fläche die magnetische Masse m Weber (auf der einen Nord-, auf der andern Südmagnetismus) befindet, so wäre die Zahl Kraftlinien, welche sich durch die Eisenmasse hindurchzieht, $4\pi m$ und die Feldintensität

$$H = \frac{4\pi m}{q}, \text{ somit}$$

$$A = \frac{10^7}{8\pi \cdot g} \cdot \frac{v}{\mu} \cdot \left(\frac{4\pi m}{q}\right)^2 = \frac{10^7}{g} \cdot \frac{l}{\mu} \cdot \frac{2\pi m^2}{q}$$

Ist $\mu = 1180$ und $m = 357$ Mikroweber[2]), so wird

$$A = \frac{10^7 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 3.14^2 \cdot 357^2 \cdot 10^{-12}}{9{,}81 \cdot 1180 \cdot 4 \cdot 10^{-2}} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ Kilogrammmeter.}$$

1) Vgl. Müller-Lehmann, Grundriss d. Physik, S. 552, § 445.

2) Eine permanent magnetische Stahlmasse von gleichen Dimensionen könnte höchstens 48 Mikroweber Polstärke besitzen, sehr gutes weiches Eisen könnte dagegen bei genügender Stärke des umgeleiteten Stromes je nach der Güte des Eisens 3000 und mehr Mikroweber aufnehmen.

Soviel Energie wird also beim Entstehen des herumgeleiteten Stromes von der Eisenscheibe als potentielle magnetische Energie aufgenommen und kommt nicht als Stromwärme zum Vorschein. Beim Aufhören des Stromes erzeugt sie in der Stromleitung den sog. Extrastrom, falls die Leitung das Zustandekommen desselben ermöglicht. Ist dies nicht der Fall, so verschwindet die Energie unter Wärmeerzeugung, indem sich die Spannung rückwärts ausgleicht.

Wir haben soeben angenommen, dass der um die Eisenscheibe kreisende Strom in einer zusammenhängenden metallischen Leitung fliesse. Bei dem zu betrachtenden Ladestrom der Elektroden bei der elektrischen Funkenentladung ist eine solche zusammenhängende Leitung nicht vorhanden, der Strom ist vielmehr durch die Luftstrecke zwischen beiden Elektroden unterbrochen, er

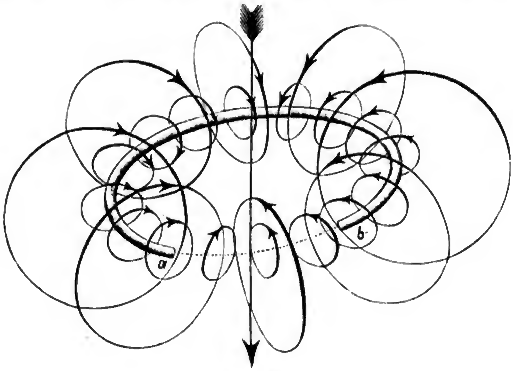


Fig. 114.

ist ein sog. „ungeschlossener“ Strom. Somit scheint das, was über die magnetische Energie gesagt wurde, auf unseren Fall nicht anwendbar zu sein.

Diese Schwierigkeit ist nur eine scheinbare. Auch sog. ungeschlossene Ströme bilden um sich ein magnetisches Feld, ebenso wie geschlossene.

Beispielsweise würde ein ringförmig zusammengebogener, aber an einer Stelle offener Stromleiter, in welchem plötzlich auf irgend eine Weise, z. B. in Folge der Bewegung eines Magnetstabes in der Richtung der Achse des Kreises eine elektromotorische Kraft auftritt und einen „ungeschlossenen Strom“ erzeugt, ein Magnetfeld entstehen, ebenso wie wenn die Lücke *ab* (Fig. 114) metallisch geschlossen wäre, wenn auch die Intensität des Stromes und somit die Zahl magnetischer Kraftlinien eine erheblich kleinere ist, als in letzterem Falle. In dem punktirten Verbindungsstück in dem Dielektrikum findet in Wirklichkeit nur „dielektrische Verschiebung“ (vgl. S. 28) statt. Dieser Ver-

schiebungsstrom muss also dieselben magnetischen Wirkungen ausüben wie der entsprechende „Leitungsstrom".

Nach **Maxwell** ist deshalb ein elektrischer Strom bezüglich der magnetischen Wirkungen stets als in sich geschlossen zu betrachten. In unserem Falle, wo die Leitung zwischen den Elektroden durch eine Luftstrecke unterbrochen ist, wird er sich zusammensetzen aus dem Leitungsstrom in den Zuleitungen und Elektroden und dem entsprechenden dielektrischen Verschiebungsstrom in der Luft, durch welchen er zu einem geschlossenen ergänzt wird.

Würde beispielsweise als Elektrizitätsquelle eine Akkumulatorenbatterie dienen, so könnte der Vorgang der Ladung und Entladung der Elektroden durch

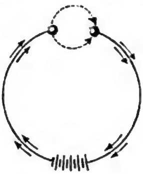


Fig. 115.

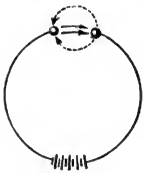


Fig. 116.

die Figuren **115** und **116** dargestellt werden. Leitungsstrom ist dabei wieder durch voll ausgezogene Pfeile dargestellt, dielektrische Verschiebung durch punktirte.

E. Intermittenzen.

Wie man sieht, ist der Funke nicht die Fortsetzung des in den Zuleitungen zu den Elektroden fliessenden Stromes; er stellt einen besonderen Strom dar, welcher durch die dielektrische Rückverschiebung zu einem geschlossenen ergänzt wird.

Hieraus folgt, dass die Zeit, in welcher sich der Strom in den Zuleitungen vollzieht, eine ganz andere sein kann als diejenige, welche die Entladung beansprucht. Es lässt sich auch leicht übersehen, dass die Zeit für die Funkenentladung ausserordentlich viel kürzer sein muss als für den Leitungsstrom. Da mit dem Eintritt der Entladung an allen Punkten der Mittellinie das Entladungsgefälle gleichzeitig erreicht wird, somit an jedem Punkt zur gleichen Zeit der dielektrische Polarisationszustand verschwinden muss, kann man von einem **Ohm**'schen Widerstande, welcher sich der Verschiebung der Kraftlinien entgegenstellt, nicht sprechen. Dieser Widerstand ist Null. Was sich der Verschiebung der Kraftlinien entgegensetzt, ist einfach die Kraft, welche die Bildung des magnetischen Feldes beansprucht. Dieses Feld besteht aus ringförmigen magnetischen Kraftlinien, welche sämmtlich in dem Raume zwischen dem Funken und der dielektrischen Rückverschiebung[1]) (Fig. 116)

1) Der Einfachheit halber ist in Fig. 116 nur eine solche Strömungslinie gezeichnet.

enthalten sind und in Ebenen senkrecht zu dem Funken und konzentrisch zu demselben liegen. Man kann sich dieselbe nach Maxwell als Aetherwirbelringe denken, welche durch die im Funken stattfindende Aetherverschiebung in Umdrehung gesetzt werden, was ebenso wie die Inbetriebsetzung eines Räderwerks Zeit und Energie kostet.[1])

Aus diesem Grunde wird sich zwar die Entladung nicht momentan vollziehen können, aber immerhin ist die Zeit in Anbetracht der kleinen Zahl magnetischer Wirbel, welche sich um den Funken herum ausbilden können, eine minimale. Sie würde geradezu gleich Null sein, wenn Entladungen und dielektrische Rückverschiebungen an allen Stellen zusammenfallen würden,[2]) was, wie schon oben angedeutet, bei einem kugelförmigen Kondensator zutrifft, der sich durch sein eigenes Dielektrikum hindurch entladet und zwar an allen Stellen gleichzeitig und gleichmässig.

Bei den gewöhnlichen Entladungen wird die Zeit nicht verschwindend klein sein, aber immerhin ausserordentlich klein gegenüber der Zeit, welche das Zustandekommen des Stromes in den Zuleitungen und die Neuladung der Elektroden in Anspruch nimmt, wobei nicht nur sämmtliche Kraftlinien gebildet werden müssen, welche der ringförmige Stromleiter (Fig. 114) in sich aufnimmt, sondern auch noch eine Verzögerung durch den Ohm'schen Widerstand dieser Leitung eintritt, der in den meisten Fällen ausserordentlich beträchtlich sein wird.

Man kann sich diesen Wechsel von langsamem Lade- und raschem Entladestrom am besten bei der Lane'schen Maassflasche klarmachen. Dieselbe ist in beiden Wirkungsarten schematisch dargestellt durch Fig. 117. Die Kämme bedeuten die Sauger der zur Ladung dienenden Influenzmaschine, die Pfeile deuten jeweils die Richtung des Stromes an. Beim Laden der Flasche findet der Leitungsstrom seine Fortsetzung in einer von unten nach oben gerichteten dielektrischen Verschiebung im Glase der Leydener Flasche, beim Entladen in einer von oben nach unten gerichteten.

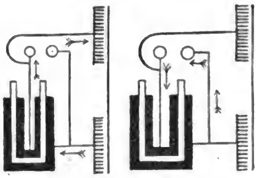


Fig. 117.

Denken wir uns die Belegungen der Maassflasche sehr klein und das Glas derselben durch Luft ersetzt, so dass zur Selbstentladung kein besonderer Entlader wie bei Fig. 117 nöthig ist, sondern der Funke direkt von einer Belegung zur andern übergehen kann, so haben wir den Fall einer gewöhnlichen Entladung.

---

1) Die in den Entladungsraum hineinfliegenden Moleküle werden durch das unsichtbare Getriebe daselbst gewissermaassen zermalmt wie Steine, welche man in ein Räderwerk hineinwirft, aber durch diesen Zerstörungsprozess wird Arbeit verbraucht und es dauert einige Zeit, bis die vorhandenen Schwungmassen ihre frühere Geschwindigkeit wieder angenommen haben und das Getriebe in früherer Weise weiterarbeiten kann.

2) Vgl. auch J. J. Thomson, Proc. Roy. Soc. **49**, 84. 1891 und Heydweiller, Beibl. **15**, 725, 1891.

Durch dieses Gleichniss dürfte wohl hinreichend klargelegt sein, auf Grund welcher Vorstellungen und Thatsachen ich mich früher äusserte:[1])

„Die Entladung ist stets intermittirend und muss es sein, weil die Entladung im Gas rascher stattfindet, als die Strömung selbst in dem bestleitenden Metalle, so dass unter keinen Umständen der Zufluss den auf den Elektroden im Moment der Entladung entstandenen Mangel sofort decken kann.“[2])

Man hat diesen Satz bis in die neueste Zeit bestritten und insbesondere war es Hertz,[3]) der sich am Schlusse seiner bekannten Abhandlung über Glimmentladung dahin aussprach:

„Durch die beschriebenen Versuche glaube ich bewiesen zu haben, dass bis zur Beibringung stärkerer Beweismittel für das Gegentheil wir die Batterieentladung als kontinuirlich, also die Glimmentladung nicht als nothwendig disruptiv anzusehen haben.“

Für meine Auffassung spricht, abgesehen von dem bereits Angeführten, die Dissoziationstheorie der Entladungen, insofern nach Faraday's Vorstellungsweise jede Entladung disruptiver Natur ist und eine Substanz nur einmal oder in Intervallen nach jeweiliger Wiederherstellung, nicht aber kontinuirlich zerrissen werden kann.

Sodann stimmt vortrefflich damit überein, dass bei Vergrösserung der Stromstärke die Spannungsdifferenz der Elektroden nicht dem Ohm'schen Gesetze entsprechend zunimmt, sondern im Wesentlichen konstant bleibt,[4]) da eben Vergrösserung der Stromstärke nur Vermehrung der Zahl der Einzelentladungen bewirken kann.

Ferner harmonirt damit, dass die pro Sekunde entwickelte Wärmemenge nicht wie die Stromwärme in Metalldrähten proportional zum Quadrat der Stromintensität ist, sondern zur ersten Potenz derselben.[5])

Dagegen spricht das Verhalten des Stromes in den Zuleitungen und zwar in so hohem Maasse, dass Hertz, wie gesagt, es für nothwendig hielt, sich nach anderweitiger Erklärung für die erwähnten Erscheinungen umzusehen, welche zu Gunsten der Annahme der intermittirenden Natur der Entladungen zu sprechen scheinen.

Wir wollen deshalb noch kurz die Vorgänge in den Zuleitungen zu den Elektroden betrachten.[6])

---

1) O. L., Wied. Ann. **22**, 343 und 344, 1884.

2) Nach Rijke, Pogg. Ann. **113**, 328, 1861 ist umgekehrt der Zeitraum, welchen die Elektrizität zur Durchlaufung eines Leiters gebraucht, viel kürzer als derjenige, den die Entladung dieses selben Leiters erfordert.

3) Hertz, Wied. Ann. **19**, 786, 1883.

4) Edlund, Pogg. Ann. **131**, 586, 1867 und O. L., Elektr. und Licht 282 u. 308.

5) G. Wiedemann, Pogg. Ann. **158**, 57. 1876 und O. L., Elektr. und Licht 304.

6) Vgl. die Kurven von Frölich in O. L., Elektr. und Licht 203.

Nehmen wir an, die Elektroden seien plattenförmig, somit der Potentialabfall zwischen denselben gleichförmig, so würde die Potentialvertheilung vor der Entladung gegeben sein durch ein Schema wie Fig. 118, wobei die Potentialwerthe als Ordinaten auf der Leitung aufgetragen sind.

Entspricht nun die Neigung des schrägen Theils der Linie zwischen den Elektroden dem Entladungsgradienten, so wird dort (fast gleichzeitig an allen

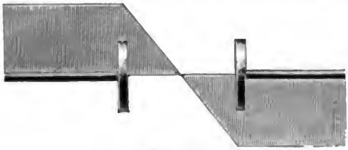


Fig. 118.

Punkten, also momentan) das Potential konstant und wie bei einem influenzirten Leiter gleich dem in der Mitte, d. h. = 0 werden, die Potentialvertheilung wäre also nunmehr die in Fig. 119 dargestellte. (Vgl. auch Fig. 109 S. 114.)

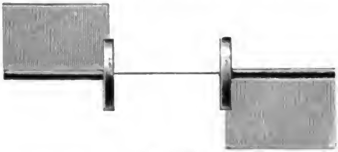


Fig. 119.

Durch diesen Vorgang sind die Elektroden plötzlich auf das Potential 0 gebracht worden, es muss sich also, von ihnen ausgehend, eine Stromwelle in der Luft ausbreiten, welche mit der Geschwindigkeit von 300 000 km pro Sekunde

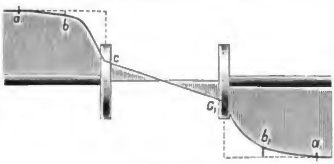


Fig. 120.

den Drähten entlang läuft und in bereits betrachteter Weise die Kraftlinienvertheilung so ändert, dass nunmehr eine Diffusion von Energie in die Drähte hinein stattfindet, welche sich in um so grössere Tiefe hinein fortsetzt, je länger die Störung andauert.

Wie lange dieselbe dauert, wird davon abhängig sein, mit welcher Geschwindigkeit die von der Oberfläche ins Innere des Stromleiters eingedrungenen

Ionen dort wandern können. Bei gutleitenden Drähten von grosser Kapazität, etwa dicken Kupferkabeln, welche in Wasser oder feuchte Erde verlegt sind, wird die Strömung sehr rasch ausgeglichen sein, so dass eine Strömung nur in den äussersten Oberflächenschichten der Leitung stattfindet, während das Innere davon unberührt bleibt.

Unmittelbar nach erfolgter Entladung wird, wie auch aus Fig. 109 zu ersehen, die Potentialvertheilung (in der Achse der Elektroden) die in Fig. 119 dargestellte sein. Nachdem sich die Elektroden wieder theilweise geladen haben, wird die Spannung etwa vertheilt sein, wie in Fig. 120 skizzirt ist.

Die Wellenköpfe a, a_1 schreiten mit der Geschwindigkeit 300000 km pro Sekunde fort, die Stellen b, b_1 dagegen, an welchen sich mittelst eines Elektrometers eben noch eine Potentialänderung konstatiren lässt, mit sehr viel geringerer Geschwindigkeit, welche bei Leitungen von grossem Widerstand und grosser Kapazität (sog. künstlichen Kabeln) wenige Meter pro Sekunde betragen kann.

Befände sich nun zwischen den Elektroden nicht ein Gas, sondern ein Isolator, etwa Glas, welches man durch Erhitzen plötzlich leitend gemacht hätte, so würde sich in diesem nunmehr ein konstanter Strom herstellen, indem sich die Kurven abc und $a_1 b_1 c_1$ allmählich zu geraden Linien abflachen würden, deren Neigung ebenso wie die der schrägen Geraden cc_1 durch die betr. Stromstärke bestimmt wäre. In einem Gase wird dagegen unserer Annahme zufolge ein solcher stetiger Strom nicht zu Stande kommen, vielmehr wird die Spannungskurve nunmehr wieder die anfängliche Form Fig. 118 erhalten und sodann erst eine zweite Entladung eintreten, da nothwendig zunächst der Entladungsgradient erreicht sein muss, ehe eine neue Entladung erfolgen kann.

Wenn gesagt wurde, dass nach erfolgter Entladung allmählich den Elektroden wieder Elektrizität zufliesse, behindert durch Ohm'schen Widerstand und Selbstinduktion, und sich schliesslich der in Fig. 118 dargestellte Anfangszustand wieder herstelle, so ist dies streng genommen nicht ganz richtig. Die Bildung der Maxwell'schen Wirbel, d. h. des magnetischen Feldes, hemmt nicht nur die Bildung des Ladestromes, sondern auch dessen Verschwinden, das unsichtbare, einmal in Gang gekommene Räderwerk sucht weiter zu rollen, wie das Räderwerk einer Fabrik oder das Schwungrad einer Dampfmaschine, obschon die treibende Kraft zu wirken aufgehört hat. Es würde dieses Bestreben des Stromes anzudauern, die sog. elektromotorische Kraft der Selbstinduktion, noch mehr Elektrizität an den Elektroden anhäufen, als im Gleichgewichtszustande ursprünglich (Fig. 118) dort vorhanden war, wenn nicht eine solche Anhäufung in Folge der Ueberschreitung des Entladungsgradienten unmöglich wäre.

Die Wirkung wird sich also darauf beschränken, dass die nun folgende Entladung länger andauert als ohne Selbstinduktion, dafür aber auch die Elektroden in höherem Maasse erschöpft zurücklässt, als wenn die Selbstinduktion nicht mitwirken würde.

Bei den geringfügigen Stromstärken, um die es sich hier handelt, wird die Selbstinduktion namentlich in Anbetracht der Grösse des Ohm'schen Widerstandes in den meisten Fällen ganz ausser Betracht bleiben können, so dass wir uns im Folgenden zunächst mit derselben nicht mehr beschäftigen. Zum Schlusse werden wir indess darauf zurückkommen und näher betrachten, welche Wirkung sie in besonders günstigen Fällen auszuüben vermag. Es wird sich zeigen, dass sogar eine Umelektrisirung der Elektroden durch Selbstinduktion möglich ist, somit die Entstehung nicht nur pulsirender, sondern sogar „oszillirender" Entladungen.

Diese Erhöhung der Elektrodenspannung durch Selbstinduktion mag in manchen Fällen[1]) Ursache sein, dass nach Eintritt der Entladung ein erheblich kleineres Potentialgefälle ausreicht dieselbe zu unterhalten. Zum Theil wird allerdings diese Wirkung auch auf Aenderung des Entladungsgradienten durch Erhöhung der Temperatur und Dissoziation des Gases beruhen.

In den hier in Betracht kommenden Fällen würde sich die Zahl der Pulsationen pro Sekunde berechnen lassen aus der Selbstinduktion, Kapazität und dem Widerstand der Zuleitungsdrähte und würde, da die ersteren beiden als sehr klein betrachtet werden können, namentlich durch den Widerstand beeinflusst werden und mit Vergrösserung desselben sich vermindern.

Die Durchführung dieser Rechnung begegnet grossen Schwierigkeiten, da sie auf Grund der Maxwell'schen Gleichungen für die Fortpflanzung elektrischer Störungen erfolgen müsste. Um wenigstens eine rohe Schätzung der Grössenordnung zu ermöglichen, sei folgende Betrachtung angestellt. Bezeichnet Q die entladene Elektrizitätsmenge, so ist:

$$Q = \int_0^t i \cdot dt = \int_0^t \frac{e}{r} \cdot dt \text{ Coulomb,}$$

wenn t die Dauer der Entladung, i die Stromstärke, e die Spannungsdifferenz der Konduktoren und r der Widerstand der Funkenstrecke. Nimmt man nun in grober Annäherung an, die Spannungsdifferenz sinke während der Entladung gleichmässig von e auf 0, und der Widerstand der Funkenstrecke sei konstant, so wäre

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \frac{e}{r} \cdot t \text{ Coulomb,}$$

also

$$t = \frac{2\,Q \cdot r}{e}.$$

Bezeichnen T und R Dauer der Wiederladung der Konduktoren und Widerstand der Zuleitungen, so wäre analog

$$T = \frac{2\,Q \cdot R}{e}.$$

---

1) Falls sich nämlich Drahtspulen in der Leitung befinden, welche bewirken, dass die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion grösser ausfällt als die ursprünglich vorhandene Elektrodenspannung.

Eine Entladung nebst Wiederladung der Konduktoren würde somit die Zeit

$$t + T = \frac{2\,Q}{e}\,(r + R) \text{ Sekunden}$$

beanspruchen, demnach wäre die Zahl der Einzelentladungen pro Sekunde

$$\frac{e}{2\,Q} \cdot \frac{1}{r + R},$$

und die pro Sekunde übergehende Elektrizitätsmenge, d. h. die Stromstärke

$$J = \frac{e}{2\,(r + R)} \text{ Ampère.}$$

Hätte man also etwa einen Lichtbogen von 44 Volt und 22 Ampère, so müsste sein

$$22 = \frac{22}{(r + R)},$$

oder

$$r + R = 1 \text{ Ohm.}$$

Die Zahl der Einzelentladungen pro Sekunde n wäre demnach

$$n = \frac{22}{Q},$$

wobei Q aus der Kapazität der Kohlenspitzen, soweit sie sich an der Entladung betheiligen, zu berechnen wäre.

Fasst man diese Theile der Elektroden als kleine Kugeln vom Radius 3 mm auf, deren Kapazität zusammen $\frac{2 \cdot 0{,}003}{9 \cdot 10^9}$ Farad beträgt, so wäre

$$Q = \frac{44 \cdot 0{,}003}{9 \cdot 10^9} = 14{,}6 \cdot 10^{-12} \text{ Coulomb,}$$

also die Zahl der Entladungen pro Sekunde

$$n = \frac{22}{14{,}6} \cdot 10^{12} = 1{,}5 \cdot 10^{12},$$

d. h. $1^1/_2$ Billionen. Vergleichsweise sei bemerkt, dass die Schwingungszahlen der Lichtwellen zwischen 1,5 und $0{,}4 \cdot 10^{12}$ liegen.

Eine so grosse Zahl von Pulsationen des Stromes in der Leitung würde sich, um so mehr, da sich die Stromschwankungen auf die nächste Nähe der Elektroden beschränken, wie auch Hertz zugiebt, mit den uns zur Verfügung stehenden experimentellen Hülfsmitteln nicht konstatiren lassen. Wenn also Hertz aus dem Umstande, dass in gewissen Fällen ein Nachweis von Strompulsationen in den Zuleitungen zu den Elektroden unmöglich ist, den Schlusss zieht, dass die Entladungen auch wirklich kontinuirlich sein können und die Faraday'sche Theorie verworfen werden muss, so scheint mir dieser Schluss nicht insoweit zwingend zu sein, so dass nicht auch im Folgenden die Entladungen als intermittirende betrachtet werden dürften.

Wie die Versuche gezeigt haben, ist die Wärmeentwickelung in einer von Entladungen durchsetzten Gasstrecke proportional der Stromintensität, nicht wie beim Durchleiten eines Stromes durch einen Draht, proportional dem

Quadrate der Stromintensität. Dieser Satz lässt sich leicht aus dem vorigen Ergebniss ableiten.

Nach dem Gesetze über die Stromarbeit ist die während der Dauer einer Entladung auftretende Wärmemenge:

$$w = \frac{1}{2\,g \cdot 430} \cdot 2\,Q \cdot E \text{ Kalorien},$$

somit die Gesammtwärme pro Sekunde

$$W = \frac{E}{2\,Q} \cdot \frac{1}{r + R} \cdot \frac{1}{2\,g \cdot 430} \cdot 2 \cdot Q \cdot E,$$

oder, da

$$J = \frac{E}{2\,(r + R)},$$

$$W = \frac{1}{g \cdot 430} \cdot E \cdot J \text{ Kalorien.}$$

Da nun E konstant ist, muss in der That W proportional zu J sein. Für das erwähnte Beispiel ergäbe sich

$$W = \frac{1}{9{,}81 \cdot 430} \cdot 44 \cdot 22 = 0{,}23 \text{ Kalorien.}$$

Bei dieser Berechnung der Wärmeentwickelung ist vorausgesetzt, dass der Lichtbogen in eine innen spiegelnde kugelförmige Hülle aus Metall eingeschlossen ist, welche keinerlei Strahlung nach aussen dringen lässt, da andernfalls das Aequivalent der Strahlung in Abzug gebracht werden müsste.

21. Elektrische Doppelschichten.

Helmholtz spricht von einer „Ladung des Atoms“ und von einer Anziehungskraft des Atoms gegen die Ladung. Die geringsten elektromotorischen Kräfte vermögen eine Wanderung der Ionen gegen die Elektroden hin zu bewirken, dagegen vermögen die Ionen ihre Elektrizität nicht ohne Weiteres an die Elektroden abzugeben. Ist die treibende elektromotorische Kraft zu schwach, so findet vielmehr eine Ansammlung der entgegengesetzt elektrischen Ionen an den Elektroden, also die Bildung elektrischer Doppelschichten statt, so dass man in gewissem Sinne eine elektrolytische Zersetzungsquelle unter diesen Umständen als Kondensator betrachten kann. Die Trennung der elektrischen Ladung von dem Ion begegnet also einem „mächtigen Widerstande, dessen Ueberwindung einer höchst bedeutenden Arbeitsleistung entspricht“.

Beruhen nun die Entladungserscheinungen, wie angenommen, ebenfalls auf Uebergang der Ionenladungen an die Elektroden, so wird man auch in diesem Falle die Bildung von Doppelschichten in Betracht ziehen müssen.

Findet beispielsweise Entladung an einer Spitze statt, so dass die gleichartig elektrischen Ionen von derselben abgestossen, die andern angezogen werden,

und vermögen letztere ihre Ladung nicht abzugeben, so wird alsbald eine derartige Anhäufung derselben eintreten, dass nach aussen die Wirkung der Spitze völlig kompensirt erscheint, somit auch der Entladungsprozess zum Stillstand kommen muss.

In der That ist es ganz unmöglich, das Verhalten von Spitzen in elektrischer Hinsicht mit der Theorie in Einklang zu bringen, wenn man nicht die Bildung derartiger Doppelschichten annimmt.[1])

Man wird somit fragen können, ist unter Umständen auch die Bildung elektrischer Doppelschichten an der Oberfläche von Elektroden möglich, in der Art, dass entgegengesetzt elektrisirte Luft von der Elektrode festgehalten wird, aber ihre Elektrizität nicht an diese abzugeben vermag?

Aehnliches beobachten wir bei elektrisirten festen Isolatoren, wie z. B. elektrisirtem Lichtenberg'schen Pulver, beim Zerreiben in einem Porzellanmörser elektrisch gewordenen Kaseins und namentlich bei dem stark elektrisirten Kuchen eines Elektrophors, welcher trotz der hohen Spannung seine Elektrizität nicht an den unmittelbar darauf gelegten metallischen Deckel abzugeben vermag, selbst wenn dieser zur Erde abgeleitet wird.

Dass selbst ein stark elektrisirtes Glimmerblatt unmittelbar auf eine blanke Metallfläche gelegt werden kann, ohne seine Ladung zu verlieren, kann man an einem Kondensatorelektroskop beobachten, bei welchem Glimmer das Dielektrikum zwischen den Kondensatorplatten bildet, wenn man die Platten kurz schliesst und sie dann trennt. Auch Behauchen und Bestreichen mit der Flamme ist nur insofern wirksam, als die dadurch gebildete Feuchtigkeitsschicht entgegengesetzte Influenzelektrizität heranzieht.

Glimmerplatten, welche auf der einen Seite positiv, auf der entgegengesetzten negativ elektrisch, somit scheinbar unelektrisch sind, können zu den merkwürdigsten Täuschungen bei Kondensatorversuchen Anlass geben. Beim Kurzschliessen der Platten und Abheben des Deckels erfolgt ein starker Ausschlag. Dreht man das Glimmerblatt um, so erfolgt der entgegengesetzte Ausschlag.

Bereits Dvořák[2]) hat auf die mangelhafte Saugwirkung von Spitzen hingewiesen.

R. v. Helmholtz[3]) führt die scheinbare Entladung elektrisirter Körper durch eine Flamme auf die Anlegung einer Schicht entgegengesetzt elektrischen Gases zurück. Er schreibt: „Ich erlaube mir hier anzuführen, dass ich vor mehreren Jahren mittelst einer Kondensatormethode nach der supponirten Doppelschicht scheinbar von der Flamme entladener Körper suchte. Der erwartete Ausschlag des Elektrometers trat auch in der That ein.“

v. Oettingen[4]) findet, dass die mit Spitzenelektroden gewonnenen Zahlen für das Entladungspotentialgefälle jeglicher Theorie widersprechen.

---

1) Vgl. auch die obige Bemerkung von Maxwell S. 71.

2) Dvořák, Wied. Ann. **19**, 323, 1883.

3) R. v. Helmholtz, Wied. Ann. **32**, 15, 1887.

4) v. Oettingen, Wied. Ann. **40**, 78, 1890.

v. Obermayer[1]) konstatirt, dass, im Gegensatz zur Theorie, die Form der Spitze von unerheblichem Einfluss auf das Entladungspotential ist.

R. v. Helmholtz schreibt: „Vor dem beständigen Ausströmen der Elektrizität erfolgte eine Reihe kleiner stossweiser Entladungen. In einem besonderen Falle wurde festgestellt, dass das erste momentane Auftreten der Reaktion (auf einen Dampfstrahl)[2]) bei einer Spannung von 2400 Volt, die dauernde Veränderung des Strahls dagegen bei 3700 Volt Spannung eintrat."

Bei einer aus Blattaluminium geschnittenen Spitze erfolgte das erste Zucken bei + 1871, — 1065 Volt, der definitive Ausschlag des Elektroskops wurde erst bei + 4173, — 2971 Volt beobachtet.[3])

Zu ähnlichen Ergebnissen führten auch von mir selbst angestellte Versuche.[4])

Wurde auf ein Aluminiumblattelektroskop ein etwa 50 cm langer vertikaler Messingdraht von 2 mm Durchmesser aufgesetzt, dessen oberes Ende in eine 2 cm lange feine Spitze aus Platindraht von 0,03 mm Durchmesser auslief, und das Ganze auf 1000 Volt geladen, so konnte eine zur Erde abgeleitete Messingscheibe von 25 cm Durchmesser der Spitze bis auf weniger als 3 mm Abstand genähert werden, ohne dass Entladung eintrat. Berechnet man aber das Potentialgefälle an der Spitze,[5]) so ergiebt sich, dass selbst eine sehr viel geringere Spannungsdifferenz, vielleicht schon eine solche von 1 Volt, im Stande sein müsste Entladung zu veranlassen.

Da das hohe Potentialgefälle nur unmittelbar an der Spitze vorhanden ist, wird, wie schon dargelegt, zunächst dort Entladung eintreten, indess nur in minimalem Maasse, insofern die entstandenen ungleich elektrischen Luftmoleküle an der Spitze festgehalten werden und die weitere Entladung hindern, während die gleichartigen abgestossen werden.

Chattock,[6]) welcher Untersuchungen über die Entladung zwischen einer Spitze und der Innenfläche einer Kugelschale bei mässiger Luftverdünnung anstellte, berechnete das Potentialgefälle an der Spitze und fand das Produkt $f \cdot r^{0,8}$, wobei f die Stärke des elektrischen Feldes und r den Krümmungsradius der Spitze bedeutet, ziemlich konstant, doch zeigten sich auch grosse Abweichungen von der Regel.

Precht[7]) gelangt durch Berechnung des Potentialgefälles an der Spitze zu dem Ergebniss, dass

$$\frac{V}{\varrho \cdot \log \frac{k}{\varrho}} = \text{Konst.}$$

1) v. Obermayer, Win. Ber. **100** (2), 127, 1891.

2) R. v. Helmholtz, Wied. Ann. **32**, 1, 1887.

3) Vgl. auch Riess, Reibungselektr. I, § 246; Nahrwoldt, Wied. Ann. **31**, 471, 472, 1887 und Wesendonk, Wied. Ann. **30**, 1, 1887 und **50**, 477, 1893.

4) O. L., Wied. Ann. **56**, 316, 1895.

5) Vgl. O. L., Elektr. und Licht S. 314, 1895.

6) Chattock, Phil. Mag. (5) **32**, 285, 1891.

7) Precht, Wied. Ann. **49**, 168, 1893.

sein muss, worin V das Potential, ϱ der Krümmungsradius der Spitze und k eine willkürliche Konstante ist. Die Versuche bestätigten indess dieses theoretische Ergebniss nicht. Seinen Versuchsresultaten zufolge kann eine äusserst feine Spitze, gebildet durch Aetzung eines 0,05 mm dicken Silberdrahtes, unter dem Mikroskop noch bis 200 Volt geladen werden, ehe Ausströmen eintritt.

Dieselbe Anomalie wie bei Spitzen zeigte sich auch bei Geissler'schen Röhren.[1]) Wurden die aus etwa 2 mm starkem Aluminiumdraht bestehenden Elektroden einer solchen Röhre von 1 m Länge und 5 cm Weite mit den Polen der Hochspannungs-Akkumulatorenbatterie durch hohe Widerstände verbunden und die Spannung vorsichtig bis zu 750 Volt gesteigert, so erfolgte keinerlei merkbare Entladung, obschon in dem verdünnten Gase mit Rücksicht auf die zugespitzte Form der Elektroden sehr viel geringere Spannungsdifferenz hätte genügen müssen die Entladung einzuleiten.[2])

Uebrigens gestalten sich in Vakuumröhren die Verhältnisse komplizirter durch den Einfluss der Gefässwände. Um genau die Spannungsdifferenz zu ermitteln, bei welcher Entladung eintritt, wurde eine Röhre von 1 m Länge und 5 cm Durchmesser mit äusseren Belegungen aus Stanniol versehen, in solchem Abstand von den Elektroden, dass directer Uebergang der Elektrizität durch Leitung oder merkliche Influenzwirkung der Elektroden ausgeschlossen war. Diese Belegungen wurden mit einem Braun'schen Elektrometer verbunden. Wurden nun die Elektroden unter Zwischenschaltung eines Wasserwiderstandes mit den Klemmen der Hochspannungs-Dynamomaschine verbunden, so trat bei successiver Steigerung der Spannung durch Verstärkung des Stromes in den Magnetspulen plötzlich bei 750 Volt Ablenkung der Elektrometernadel ein, d. h. es hatte Entladung der Elektroden gegen die Glaswandung der Röhre stattgefunden.

Dass die Entladung alsbald wieder aufhörte, erklärt sich wohl so, dass die Ladung der Glaswände die Feldintensität derart abänderte, dass das Potentialgefälle in der Nähe der Elektroden zur Fortsetzung der Entladung nicht mehr genügend war.

Wurde nun die Spannung weiter erhöht, so trat bei 900 Volt ebenso plötzlich zum zweiten Mal Entladung gegen die Gefässwände ein, bei 1100 Volt zum dritten Mal, dann noch ein oder mehrere Mal, bis bei 1500 Volt der Strom in Form der gewöhnlichen leuchtenden Entladung anscheinend stetig direkt von einer Elektrode zur anderen ging.

Diese sprungweise Wiederholung der Entladung nach jeweiliger beträchtlicher Steigerung der Spannung erklärt sich vielleicht wieder durch Ladung der Gefässwände oder dadurch, dass vor jeder neuen Entladung zunächst wieder elektrische Doppelschichten an den Elektroden gebildet wurden.

---

1) O. L., Wied. Ann. **56**, 317, 1895.

2) Diese Spannung scheint auch wenig von der Form der Elektroden abhängig zu sein, obschon sich damit das Potentialgefälle beträchtlich ändern müsste, wenn keine Doppelschicht vorhanden ist.

Die Entladungen gegen die Glaswand waren im Allgemeinen dunkel, doch zeigte sich im völlig verfinsterten Zimmer auch öfters mehr oder minder helles Aufleuchten der Elektroden, wobei man an der Kathode deutlich den dunkeln Raum und blaues Glimmlicht erkennen konnte.

Auch bei Anwendung von Wechselstrom zeigten sich dieselben Erscheinungen.

Wurde den Elektroden von einem Heliostransformator, welcher durch eine Helioswechselstrommaschine gespeist wurde, unter Zwischenschaltung eines Wasserwiderstandes Wechselstrom zugeführt, so zeigte sich an dem mit den äusseren Belegungen verbundenen Elektrometer kein Ausschlag, so lange die mittlere Spannungsdifferenz der Elektroden unter 250 Volt blieb. Von da an kamen die Blättchen des Elektrometers zu starker Divergenz, bis bei 290 Volt Spannungsdifferenz leuchtende Entladung eintrat. Dabei ging die Divergenz der Blättchen auf einen kleinen konstanten Werth zurück, der sich mit zunehmender Stromstärke entsprechend dem wachsenden Potentialgefälle im Rohr vergrösserte.

Da die Spannungskurve für eine Periode des Wechselstromes bei der angewandten Maschine stark von der Form einer Sinuskurve abwich, so dass das Verhältniss der maximalen Spannung zur mittleren, wie experimentell festgestellt wurde, 5,14 betrug, sind die Werthe der maximalen Spannungsdifferenz beim Eintritt der konvektiven und der leuchtenden Entladung 1285 bez. 1491 Volt. Es scheint also die für den Eintritt der leuchtenden Entladung maassgebende[1]) maximale Spannungsdifferenz bei Wechselstrom dieselbe zu sein wie beim Gleichstrom, wie es auch nach der Faraday'schen Ansicht sein muss, im Gegensatz zu neueren Ansichten, welchen zufolge auch die Aenderungsgeschwindigkeit des Potentials in Betracht käme (Jaumann, Tesla).

In gleicher Weise gestalteten sich die Erscheinungen bei Anwendung des von Ebert[2]) beschriebenen Apparates, bei welchem (nach Ebert) die Schwingungszahl etwa 7 Millionen pro Sekunde ist. Die Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden mochte, nach dem Ausschlag des Elektrometers zu urtheilen, etwa 20 Volt betragen haben, solange nur eben sichtbare Lichtnebel auftraten, 30 Volt beim Durchgang der leuchtenden Entladung. Nimmt man an, dass auch unter solchen Umständen zur Erzeugung der leuchtenden Entladung eine Spannungsdifferenz von 1500 Volt nothwendig ist, so ergiebt sich, dass der durch den Ebert'schen Apparat erzeugte Wechselstrom so stark von der Sinusform abweicht, dass bei einer maximalen Spannung von 1500 Volt die mittlere Spannung nur 30 Volt beträgt. Die Spannung muss also während einer Halbschwingung momentan äusserst rasch ansteigen und ebenso rasch

1) Vgl. auch Steinmetz, die Spannung im Wechselstromlichtbogen in dem Artikel: „Findet eine Phasenverschiebung im Wechselstromlichtbogen statt“, Elektrotechn. Zeitschrift **13**, S. 567, 1892; ferner: „Disruptive Erscheinungen etc.“, l. c. **14**, S. 248, 1893.

2) Ebert, Wied. Ann. **53**, S. 144, 1894.

wieder abfallen, während des grössten Theiles der Zeitdauer aber verschwindend klein sein.

Hiermit stimmt überein, dass bei einer mittelst des Elektrometers gemessenen Spannungsdifferenz von ca. 70 Volt (entsprechend einer maximalen Spannungsdifferenz von ca. 4000 Volt) die Schlagweite in gewöhnlicher Luft etwa 1 mm betrug.

Wurden die Elektroden des Rohres unter Zwischenschaltung eines Kommutators mit der Hochspannungs-Akkumulatorenbatterie in Verbindung gesetzt und durch fortwährendes Umlegen dieses Kommutators Wechselstrom erzeugt, so blieb der Ausschlag des mit den äusseren Belegen verbundenen Elektrometers aus, sobald die Spannung der Batterie unter 700 Volt heruntergemindert wurde. Ueber dieser Spannung trat er plötzlich hervor und wurde nun mit zunehmender Spannung immer grösser bis zum Eintritt der leuchtenden Entladung.

Maxwell[1]) giebt an, man habe gefunden, dass einige Pflanzendorne, Spitzen und Stacheln viel vollkommener die Elektrizität zum Ausströmen bringen, als die feinsten zugespitzten Nadeln, welche man herstellen kann. Vielleicht beruht diese Wirkung darauf, dass an nichtmetallischen Körpern Doppelschichten weniger leicht zu Stande kommen als an Metallen.

Precht[2]) konnte indess eine Einwirkung des Metalls der Spitze auf den Entladungsgradienten nicht konstatiren, selbst wenn, namentlich bei positiver Ladung, eine nicht unerhebliche Zerstäubung derselben stattfand.

Auch Heydweiller[3]) beobachtete nur eine unbedeutende Abhängigkeit des Entladungsgefälles von der Substanz der Elektroden.

Weitere Versuche über den Einfluss der Elektrodensubstanz habe ich selbst mit Lösungen von Metallsalzen in Glycerin, konzentrirter Schwefelsäure, Phosphorsäure, Aetznatron, Aetzkali, Chlorzink, Anilin u. s. w. ausgeführt, wobei sich ein merklicher Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit ergab; ferner auch bei reinem und unreinem Quecksilber, und reinem und unreinem Natrium, bei welchem die Entladung im ersten Fall die reinen, im andern die unreinen Stellen bevorzugte.[4])

Wird der elektrische Wind im Vakuum gegen eine ausgedehnte Fläche von nahezu reinem Glycerin geleitet,[5]) so entsteht auf dieser eine sehr viel grössere Glimmlichtscheibe als auf einer konzentrirteren Lösung eines Salzes in Glycerin oder auf einer metallischen Elektrode. Der Grund hierfür kann nicht

---

1) Maxwell, Die Elektrizität, deutsch von Graetz, Braunschweig 1883, S. 129. Bei Versuchen mit Papierelektroskopen glaube ich beobachtet zu haben, dass sich die Elektrizität rascher verliert, wenn die Papierstreifen mit Chlorcalciumlösung imprägnirt sind.

2) Precht, Wied. Ann. **49**, 172, 1893.

3) Heydweiller, Wied. Ann. **38**, 559, 1889.

4) Vgl. O. L., Zeitschr. für Elektrochemie II, 481, 1896 und Wied. Ann. **56**, 330, 2895. Schiessbaumwolle soll durch Anblasen trockener Luft stark elektrisch werden.

5) Dem Glycerin wird zweckmässig zur Erhöhung der Leitungsfähigkeit eine Spur eines Metallsalzes, z. B. Bleizucker, beigefügt.

in der schlechten Leitungsfähigkeit des Glycerins für den elektrischen Strom begründet sein, denn schaltet man dieselbe Glycerinschicht an einer anderen Stelle des Schliessungskreises ein und verwendet metallene Elektroden, so bleibt die Wirkung aus. Wohl aber dürfte das Austreten von Ionen aus den Elektroden in Betracht kommen.

Stellt man z. B. einer als Anode dienenden Bleischale mit konzentrirter Lösung von Bleizucker in Glycerin eine massive Kathode aus Messing gegenüber, so sieht man an der Oberfläche des Glycerins in Menge Bleikrystalle auftreten, ähnlich wie wenn der elektrische Wind durch eine den Strom leitende Metallmasse ersetzt, also die Bleizuckerlösung in gewöhnlicher Weise elektrolysirt würde.[1])

Ist die Stromstärke und somit die Stromwärme genügend gross, so tritt eine oberflächliche Verdampfung dieser Bleikrystalle ein, es mischt sich also der Luft Bleidampf bei und das Glimmlicht zieht sich zusammen, da nun eine weit geringere Oberfläche der Anode genügt, den von der Kathode kommenden elektrischen Wind zu entladen. Bildet sich reichlich Metalldampf, so schrumpft das Glimmlicht auf einen Punkt zusammen, die Spannung sinkt bedeutend, während die Stromstärke immer mehr anwächst und die Glimmentladung geht in Lichtbogen über.

Dass dieser Austritt von Metallionen lediglich eine Folge der Verdampfung aus Ursache der Temperaturerhöhung ist, kann man deutlich bei Anwendung konzentrirter Natronlauge als Anode sehen. Das auf derselben ausgebreitete positive Glimmlicht erscheint zunächst ebenso rosa gefärbt, wie an einer metallischen Elektrode, so lange die Stromstärke gering ist, und erst bei beträchtlicher Erhöhung derselben erscheint gelbes Licht, worauf aber sofort die Entladung in die Lichtbogenform übergeht.

Sehr schön kann man die Bildung des Metalldampfes an der auftretenden blaugrünen Färbung bei Anwendung einer Lösung von Rhodanzink in Anilin erkennen.

22. Polare Unterschiede.

Atome verschiedener Körper haben nach H. v. Helmholtz verschiedene Anziehungskraft gegen die beiden Elektrizitäten, geben dieselben also mehr oder weniger leicht ab. So erklärt sich beispielsweise die Wirksamkeit eines Daniell'schen Elements nach Helmholtz dadurch, dass an dem Zink Ionen in Lösung gehen, welche nur positive Elektrizität mit sich nehmen, während negative zurückbleibt, und umgekehrt am Kupfer positiv geladene Kupferionen aus der Lösung niedergeschlagen werden und ihre Elektrizität dort abgeben.[2])

1) Vgl. auch Warburg, Wied. Ann. **40**, 1, 1890 (Austritt von Natrium aus Glas).

2) Nernst fasst den Druck, mit welchem die Ionen in Lösung gehen, die „Lösungstension", als osmotischen Druck auf und gelangt deshalb unter Anwendung der Gesetze

Kalium, Natrium und Zink haben starke Anziehung für positive, Sauerstoff, Chlor, Brom und Jod dagegen für negative Elektrizität.

Durch diese Verschiedenheit der Anziehungskräfte erklärt sich auch nach v. Helmholtz der Volta'sche Fundamentalversuch und die Reibungselektrizität, welche nur als ein spezieller Fall von Kontaktelektrizität zu betrachten ist. Ein Tropfen Quecksilber in einer Vakuumröhre entwickelt aus diesem Grunde beim Hin- und Herrollen ein stärkeres Licht, als ein Tropfen der flüssigen Legirung von Kalium und Natrium in derselben Röhre.[1])

Spielen nun Doppelschichten an der Oberfläche der Elektroden eine so bedeutende Rolle, wie oben angedeutet, so wird sich erwarten lassen, dass die verschiedene Leichtigkeit, mit welcher die Ionen ihre Ladung abgeben, auch bei den Entladungserscheinungen sich geltend machen und polare Unterschiede bedingen werde.

Die Wirkung einer derartigen einseitigen Doppelschicht ist die völlige Umgestaltung des elektrischen Feldes, wie man aus Fig. 121 erkennt, bei

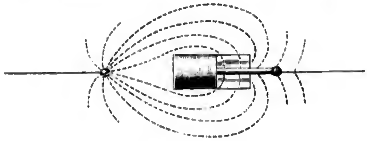


Fig. 121.

welcher die Doppelschicht durch die Ladungen der beiden Belegungen einer Leydener Flasche, welche als Elektrode dient, versinnbildlicht ist.[2]) Die von der Elektrode links ausgehenden Kraftlinien werden nicht, wie man erwarten sollte, nach dem gegenüberstehenden Boden der Leydener Flasche sich hinziehen, sondern die Belegungen derselben in grosser Zahl umgehen[3]); ein überspringender Funke wird also nicht zu dem nächstgelegenen Theile der Flasche sich richten, sondern nach dem scheinbar am ungünstigsten gelegenen Stiele derselben.

In ähnlicher Weise beobachtet man, dass, wenn die Kathode in einem elektrischen Ei mit Glimmlicht bedeckt ist, ein von der Anode ausgehender Funke sich um dieses Glimmlicht herumzieht und erst an der Grenze der Glimmlichthülle die Kathode trifft (Fig. 17 α, β Taf. II).

---

des osmotischen Druckes zu genaueren Vorstellungen und Sätzen über die Wirkung der Elemente. Im übrigen besteht, wie schon oben bemerkt, ein erheblicher Unterschied zwischen der Helmholtz'schen und Nernst'schen Betrachtungsweise. Vgl. auch Ostwald, Elektrochemie.

1) Ueber die chemische Natur der Reibungselektrizität siehe auch Faraday, Experimentaluntersuchungen I, S. 501, § 1744—48, 1838.

2) O. L., Wied. Ann. **56**, 324, 1895.

3) Dabei ist vorausgesetzt, dass die äussere Belegung durch flüchtige Ableitung zur Erde mit dem erforderlichen Quantum entgegengesetzter Elektrizität geladen wurde.

Faraday[1]) äussert sich über die polaren Unterschiede:

„Die Schlüsse, zu denen ich gelange, sind folgende: Erstens wenn zwei gleiche kleine Leiterflächen in gleicher Lage an der Luft elektrisirt werden, die eine positiv, die andere negativ, so kann die negative sich bei niedrigerer Spannung in die Luft entladen als die positive; zweitens wenn Entladung erfolgt, so geht zu jeder Zeit weit mehr von der positiven als von der negativen Fläche über.“

„Hinsichtlich der Luft kann das, was die Folge einer Ueberlegenheit der positiven Kraft an der Oberfläche der kleineren Kugel zu sein scheint, von der gesteigerteren negativen Polarität der Theilchen der Luft oder ihres Stickstoffs herrühren (indem der negative Theil vielleicht mehr zusammengedrängt, während der positive mehr ausgedehnt ist oder umgekehrt); denn ein derartiger Zustand könnte gewisse Wirkungen an der positiven Kugel bedingen, welche an der negativen nicht in demselben Maasse stattfinden, gerade so, wie wenn die positive Kugel eine besondere, unabhängige und für sich bestehende Kraft besässe.“

Diese Erklärung Faraday's kann wohl, da die Kraft, welche die Moleküle zerreisst, also die dielektrische Festigkeit, nur von der Quantität der Ladung abhängt, lediglich in dem Sinne verstanden werden, dass die kleineren Moleküle auf höhere Spannung geladen sind und aus diesem Grunde ihre Ladung leichter an die Elektroden abgeben als die grossen, was auf dasselbe hinauskommt wie die Helmholtz'sche Annahme.

Auch Riess[2]) glaubt in elektrischen Luftschichten die Ursachen der polaren Verschiedenheiten sehen zu müssen, wenn er sich dieselben auch in wesentlich anderer Weise als Faraday entstanden denkt.[3])

Warren de la Rue und H. Müller versuchten eine Polarisation der Elektroden bei Gasentladungen nachzuweisen, indess ohne Erfolg, da sich die beobachteten Erscheinungen vollkommen durch die statischen Ladungen der Gefässwände erklären liessen.[4])

Nach Doubrava[5]) soll zur Einleitung der Entladung an der negativen Elektrode ein höheres Potential erforderlich sein, als an der Anode und dies soll seinen Grund darin haben, dass bei vollkommen gleichen Elektroden und bei gleichem Potential derselben das Gefälle an der negativen Elektrode in der Luft kleiner als an der positiven ist. (Bei Olivenöl soll gerade das Entgegengesetzte stattfinden.) Da nun das Potentialgefälle in unelektrischer Luft nur von der Form und Ladung des Konduktors abhängen kann, scheint auch Doubrava eine Elektrisirung der Luft in der Nähe der Elektroden anzunehmen.

---

1) Faraday, S. 430, § 1501 und S. 431, § 1503.
2) Riess, Reibungselektrizität **2**, 214, 1853.
3) Durch Reibung feuchter Luft an trockener.
4) Warren de la Rue und H. Müller, Proc. Roy. Soc. **30**, 563, 1880.
5) Doubrava, Beibl. **4**, 815, 1880.

Gleiches gilt von einer Hypothese Wächter's,[1]) welcher zufolge das Mittel der Potentialwerthe näher gegen die negative Elektrode hin liegen soll, so dass sich eine unsymmetrische Anordnung der Niveauflächen ergiebt, auf welcher die grössere Spannung auf der positiven Elektrode bei gleicher Ladung beider Elektroden, die ungleiche Form der positiven und negativen Büschelentladung und die Drehung des Flugrädchens im Sinne der positiven elektrischen Ausströmung beruhen soll.

Nach Schuster[2]) beruhen die polaren Verschiedenheiten bei der Entladung darauf, dass zwischen einem negativen Ion und der Anode ungehinderte Entladung möglich ist, zwischen einem positiven und der Kathode dagegen nur, wenn die Oberfläche in chemischer Thätigkeit begriffen ist.

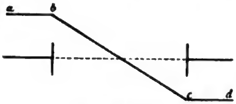


Fig. 122.



Fig. 123.

Das Potentialgefälle in Elektrolyten kann grösser sein als das Kathodengefälle in Gasen, da sich bei ersteren der Potentialabfall auf eine molekulare Entfernung beschränkt, bei letzteren sich in messbare Entfernungen ausdehnt.

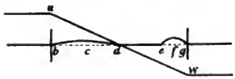


Fig. 124.

Die Kathode ist mit einer Atmosphäre positiv geladener Partikelchen bedeckt, deren Dichtigkeit nach aussen abnimmt.

Righi[3]) kommt ebenfalls zu dem Ergebniss, dass sich um die Elektroden und namentlich um die Kathode Atmosphären von elektrisirtem Gas bilden, welche unter Annahme der Theorie von Giese und Schuster aus freien Ionen bestände.

Die Wirkung solcher elektrischen Luftschichten kann man sich an den Figg. 122—124 klar machen.[4])

Denken wir zwei plattenförmige Elektroden einander gegenübergestellt und denselben immer mehr und mehr Elektrizität zugeführt, bis schliesslich Entladung eintritt, nehmen wir ferner an, es würden die Potentialwerthe an den verschiedenen Punkten der Achse beider Elektroden und der Trennungs-

1) Wächter, Wien. Anzeiger **2**, 5, 1886.
2) Schuster, Proc. Roy. Soc. **47**, 526, 1890.
3) Righi, Beibl. **17**, 975, 1893.
4) Vgl. O. L., Wied. Ann. **22**, 330, 1884.

schicht durch eine ebene Kurve über dieser Achse dargestellt, so würde diese Kurve nach bekannten Sätzen in jedem Momente aus drei geradlinigen Stücken bestehen, nämlich den Parallelen *ab* und *cd* (Fig. 122) über den Elektroden und der geneigten Geraden *bc* in der Zwischenschicht. Je höher die Potentialdifferenz ansteigt, um so grösser wird die Neigung der Linie, und im Momente der Entladung würde sie gerade dem Entladungsgefälle gleich geworden sein, falls nicht die störende elektrische Luft eine Aenderung bewirkte.

Nehmen wir an, diese elektrischen Luftmassen seien durch eine schwache Entladung an der Anode entstanden, es seien also zwei positiv elektrische Luftmassen vorhanden, eine ausgedehntere an der Anode und eine dicht zusammengedrängte an der Kathode, dann muss im Momente der Entladung die Potentialkurve etwa eine Form besitzen, wie sie in Fig. 123 dargestellt ist.

Zwischen *f* und *g*, d. h. dicht an der Kathode, ist die Linie parallel zu *xy*, welche das Entladungsgefälle repräsentirt, *ef* ist dagegen nahezu parallel der Achse, *cd* steiler, *bc* flacher als die gerade Linie *bg*. Diese Potentialkurve entsteht aus zwei Kurven, nämlich der Geraden *uw* (Fig. 124) und den zwei nach positiver Seite ausgebogenen *bcd* und *efg*, welche den elektrischen Luftschichten entsprechen.

Selbst bezüglich der Existenz der zu erklärenden polaren Verschiedenheit gehen übrigens die Meinungen noch erheblich auseinander.

Nach Biot (1816) und Palmieri (1881) sind die Zerstreuungsverluste bei positiver und negativer Elektrizität bei geringen Ladungen gleich, bei starken werden sie dagegen nach Matteucci (1850) für die negative Elektrizität grösser, diese scheint also leichter an die Luft übertragen werden zu können als die positive.

Nach Warren de la Rue und H. Müller erscheint die Entladung einer Chlorsilberbatterie von 8040 Elementen im rotirenden Spiegel bei positiver Spitze und negativer Platte aus einzelnen Bildern bestehend, im umgekehrten Falle als kontinuirliches Lichtband. Ein auf die Platte gelegtes Stück Löschpapier adhärirt stärker, wenn die Spitze negativ als wenn sie positiv ist.

Holtz (1876 und 1880) beobachtete, dass ein kleines Flügelrädchen (Windmühle) stärkeren Antrieb durch den positiven als den negativen elektrischen Wind (bei Anwendung einer Influenzmaschine) erhielt.

Nach Hittorf (1879) hört das elektrische Flugrad unter der Luftpumpe auf zu laufen, sobald die Entladungsintensität einen genügend hohen Werth erreicht. Bei positiver Elektrisirung geschieht dies erst bei 9 mm Druck, bei negativer schon bei 40 mm.

Bichat (1887) fand bei einem eigenthümlich eingerichteten elektrischen Flugrad, dass die Drehung bei einem Potential von 69,1 CGS für positive, 63,2 für negative Elektrizität beginnt.

Auch Nahrwold (1887) kommt zu dem Resultate, dass bei gewöhnlicher Temperatur negative Elektrizität von hohem Potentiale leichter aus festen Leitern in atmosphärische Luft ausströmt als positive.

Wesendonck[1]) (1887) dagegen konnte selbst bei Anwendung einer Spitze und Platte als Elektroden keine polaren Unterschiede des Entladungsgradienten beobachten.

Auch Heydweiller[2]) kommt durch seine Versuche zu dem Ergebniss, dass bei der Glimm- und Büschelentladung in normaler Luft kein polarer Unterschied in Bezug auf das Entladungspotential auftritt. Wo sich scheinbare Abweichungen hiervon finden, sollen sie auf Influenzwirkung benachbarter fester Körper, namentlich dielektrischer, zurückzuführen sein.

Im Gegensatz dazu fanden Harway und Hird[3]) und ebenso Himstedt,[4]) dass bei Wechselströmen hoher Frequenz vorherrschend die positive Elektrizität ausströmt und auch Wesendonck[5]) bestätigt diese Beobachtung bei Anwendung sehr rascher elektrischer Schwingungen, welche mittelst eines Blondlot'schen Erregers hervorgerufen wurden. Vermuthlich erklärt sich diese Erscheinung dadurch, dass bei der äusserst kurzen Dauer der Ladung der Elektroden nur die positive Elektrizität, welche nach Faraday rascher abströmt als die negative, vollständig oder wenigstens in erheblichem Maasse zur Entladung kommen kann, während die negative grösstentheils wieder in den Apparat zurückströmt.

Arrhenius[6]) findet die Reaktionskraft eines Flugrades bedeutend geringer für negative als für positive Elektrizität.

Am meisten Gewicht dürften unter diesen Ergebnissen die Versuche mit Wechselströmen besitzen, da in Folge der grossen Frequenz der Wechselströme das verschiedene Verhalten verschieden elektrisirter Luftschichten besonders deutlich zum Ausdruck kommen muss. Es scheint daraus in Uebereinstimmung mit den übrigen Beobachtungen zu folgen, dass negativ elektrisirte Luft ihre Elektrizität sehr leicht an eine positive Elektrode abgiebt, positiv elektrische sich dagegen nur schwer an der Kathode entladet.

Die Kathode wird sich also mit einer positiv elektrischen Atmosphäre umgeben, wodurch sich auch die geringere Reaktionskraft eines negativ geladenen Flugrades und die schon von Faraday beobachtete grössere Häufigkeit der negativen Entladungen bei schwacher Elektrizitätszufuhr ableiten lässt.

Auffälliger als die durch die Spannung sich kundgebenden polaren Verschiedenheiten sind diejenigen, welche sich durch Farbe und Form der Lichterscheinungen kundgeben.

Während das röthliche positive Glimmlicht vollkommen homogen erscheint, beobachtete bereits Plücker[7]) in dem blauen negativen Glimmlicht einen breiten

1) Wesendonck, Wied. Ann. **31**, 319, 1887.
2) Heydweiller, Wied. Ann. **48**, **118**, 1893.
3) Harwey und Hird, Phil. Mag. (5) **36**, 45, 1893.
4) Himstedt, Wied. Ann. **52**, 473, 1894.
5) Wesendonck, Naturw. Rundschau **10**, 401, 1894.
6) Arrhenius, Beibl. **20**, 566, 1896.
7) Plücker, Pogg. Ann. **105**, 71, 1858.

dunkeln Raum an der Kathode. Morren[1]) erhielt denselben in einer Dicke bis 100 mm.

Hittorf[2]) äussert sich: „In unmittelbarer Berührung mit der Oberfläche der Kathode tritt ein schmaler, heller leuchtender Saum auf (Wied. Ann. 1883, 3, Taf. VI, Fig. 4a). Darauf folgt eine dickere dunklere und deshalb durchsichtig scheinende Hülle. Von dieser hebt sich die dritte äusserste Schicht durch stärkeres Leuchten ab. Mit der Verringerung der Gasdichte und ebenso mit Zunahme der Stromstärke, wächst die Dicke dieser Hüllen stetig.“[3])

Nach Goldstein (1886) ist in verdünnter Luft die der Kathode unmittelbar anliegende Schicht chamoisgelb gefärbt, die zweite erscheint blau und lichtschwach, die dritte violettblau und hellleuchtend. Die erste Schicht ist im Allgemeinen sehr dünn, kann aber bei plattenförmigen Kathoden von $2-2^1/_2$ cm Durchmesser bei den höchsten Graden der Verdünnung bis auf eine Entfernung von 2 cm von der Kathode verfolgt werden. Berührt die Kathode die Röhrenwand, so zieht sich die erste Schicht von den Rändern der Kathode zurück.

Es ist sehr bemerkenswerth, dass, wie Taf. II Fig. 9 zeigt,[4]) der rothe Saum die ganze Kugel umhüllen kann, während die Glimmlichtstrahlen nur über einer relativ entfernten Stelle des Stieles schweben und häufig ihren Ort wechseln, als ob ein Windhauch sie verdrängte.

Trotz dieser Verschiedenheit der Färbungen ist indess nach Goldstein (1876) eine wesentliche Verschiedenheit nicht vorhanden. Er schreibt:

„Nach den übereinstimmenden Beobachtungen einer grossen Reihe von Autoren bestehen charakteristische, theilweise sehr bedeutende Unterschiede zwischen den Spektris des positiven und des negativen Lichts mancher Gase. Sicher konstatirt dürften diese Differenzen scheinen für Stickstoff[5]) bezugsweise Luft und Wasserstoff.

Indem ich diese Gase zur Untersuchung auswählte, ist es mir gelungen, das Spektrum des positiven Lichts mit Luft, Stickstoff oder Wasserstoff gefüllter Röhren von beliebiger Form durch sehr starke Verdünnung oder durch Verstärkung der Entladungsintensität in ein Spektrum des Kathodenlichts überzuführen.

Die bisher angenommene Existenz einer zwiefachen Leitung in den verdünnten Gasen, welche bezüglich dem sogenannten positiven und negativen Lichte entspricht, kann ebenso wenig festgehalten werden, als es noch wahrscheinlich ist, dass der Entladungsvorgang, wie er im „positiven“ Lichte sich darstellt, analog ist der metallischen oder elektrolytischen Leitung.

---

1) Morren, Ann. chim. phys. (4) **4**, 325, 1867.

2) Hittorf, Wied. Ann. **21**, 95, 1884.

3) Crookes (1879) hat durch zweckmässig ersonnene Demonstrationsapparate wesentlich dazu beigetragen diese Erscheinungen in weiteren Kreisen bekannt zu machen.

4) O. L., Wied. Ann. **22**, 318, 1884.

5) Den neueren Untersuchungen gemäss müsste hier namentlich auch das Argon genannt werden. (O. L.).

Positives und negatives Licht sind vielmehr gleicher Art; ihre Differenzen sind nur Unterschiede des Grades, und es ist möglich, eine kontinuirliche Reihe von Zwischengliedern zwischen beiden herzustellen."

Ebenso also, wie man aus der verschiedenen Leichtigkeit des Ausströmens positiver und negativer Elektrizität keinen Schluss auf eine prinzipielle Verschiedenheit der beiden Elektrizitäten ziehen kann, gilt dies auch bezüglich der verschiedenen Farbe des positiven und negativen Glimmlichts in der Luft. Vermuthlich hängt dieselbe mit der Verschiedenheit der Stromdichte an beiden Elektroden zusammen, die ihrerseits durch die erwähnten Doppelschichten, oder wenigstens durch dieselbe Ursache wie diese, bedingt ist.[1])

In der That ist es nicht schwer, die Strukturverschiedenheiten der beiden Glimmlichtarten aus der Anwesenheit einer positiv elektrischen Lufthülle in der Nähe der Kathode in einigermassen einleuchtender Weise abzuleiten, wenn es auch zur Zeit unmöglich ist, diese Annahme zu beweisen.

Der Umstand, dass sich beim Drehen der Kathode die Glimmlichtflecke auf der Anode mit verschieben, nicht umgekehrt, dass ferner die erste Kathodenschicht, wie später gezeigt wird, nicht durch den Magneten beeinflusst wird und mehrere verwandte Erscheinungen weisen darauf hin, dass in Folge der Ursachen, welche die polare Verschiedenheit bedingen, das Entladungsgefälle an der Kathode früher erreicht wird als an der Anode, so dass sich zunächst nur die erste Kathodenschicht bildet.

Dieselbe kann unter Umständen, wie die Figuren Taf. III Fig. 4 und Taf. II Fig. 9 zeigen, für sich allein auftreten.

An der Anode, wo der von der Kathode herüberkommende elektrische Wind seine Ladung leicht abgiebt, wird sich der Entladungsprozess sehr leicht und einfach vollziehen. Es entsteht eine Hülle von positivem Glimmlicht.

An der Kathode wird die von der Anode herkommende positive Luft ihre Elektrizität nur schwer abgeben. Es bildet sich eine negative Lufthülle an der Kathode, die selbst von einer positiven umgeben oder damit vermengt ist. Da hierdurch der Abfall des Potentials abgeschwächt ist, findet zunächst, wie Fig. 125 andeutet, keine weitere Entladung statt, sondern der von der Anode ausgehende, durch die voll ausgezogenen Pfeile dargestellte elektrische Wind transportirt nur positive Luft in die Nähe der Kathode und setzt sich, als elek-

---

1) Faraday weist (vgl. S. 59) auf die Analogie mit den polaren Verschiedenheiten bei konvektiver Entladung hin. Es scheint nicht unmöglich, dass Kontaktkräfte an der Oberfläche der Elektroden auftreten, welche dem Gase, soweit es das Metall unmittelbar berührt, eine bestimmte Ladung ertheilen. In diesem Sinne hatte ich mich früher ausgedrückt, die Luft werde durch Reibung elektrisch (wie z. B. Quecksilber in Berührung mit Glas). Man kann natürlich nicht erwarten, durch Reibung von Metall und Gas unter gewöhnlichen Umständen Elektrizität zu erhalten, da das Metall mit einer unbeweglichen kondensirten Gasschicht bedeckt ist. (O. L., Wied. Ann. **22**, 334, 1884.)

Beim Trocknen von Schiessbaumwolle durch Luftströme müssen Vorsichtsmassregeln getroffen werden, um Entzündung durch elektrische Funken zu verhüten. Nähere Untersuchungen fehlen.

trischer Strom betrachtet, nur als dielektrische Verschiebung fort, so dass jene Luftschicht, der dunkle Kathodenraum (die 2. Kathodenschicht) nahezu lichtlos bleibt.

Hat sich genügend elektrische Luft an der Kathode angesammelt, so findet Selbstentladung dieses Luftkondensators statt in Form der Strahlen, welche ihn naturgemäss senkrecht durchsetzen — der Glimmlichtstrahlen (3. Kathodenschicht), während die dielektrische Verschiebung, wie Fig. 126 andeutet, wieder rückgängig wird.

Bei Ableitung des einen von ziemlich nahe stehenden Konduktoren im elektrischen Ei erscheint die Lichterscheinung nur am isolirten, und zwar am negativen als negatives Glimm-, am positiven als positives Glimmlicht.

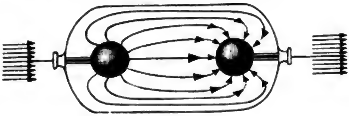


Fig. 125.

Aehnlich wirkt ungleiche Grösse der Elektroden, wenigstens sagt Hittorf[1]): „Nimmt man nur zu einer Elektrode eine Spitze, zur andern eine grosse Fläche, etwa eine Kugel des Mikrometers, so wird nur erstere leuchtend und zwar mit dem ihrer Elektrizität entsprechenden Lichte."

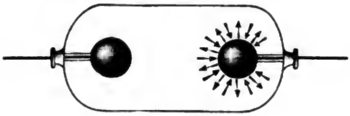


Fig. 126.

Entspricht die Dicke des dunkeln Kathodenraumes der Dicke der elektrischen Luftschicht, so ist zu erwarten, dass sie da, wo diese Luftschicht sich weniger gut ausbilden kann, d. h. da wo vor Beginn der Entladung die Dichtigkeit der in die Kathode eindringenden Kraftlinien am geringsten war, ebenfalls am geringsten ist, umgekehrt beträchtlich da, wo die Kraftlinien zahlreich eindringen und wo durch Bildung dunkler Schichten in der positiven Entladung gemäss der früher geäusserten Ansicht über die Natur der Schichten[2]) ebenfalls Anhäufung positiv elektrischer Luft bedingt wird.

Hiermit stimmen die Beobachtungen überein.[3]) Beispielsweise zieht sich da, wo die Kathode einspringende Winkel hat, wie bei Fig. 10 Taf. III, das blaue Glimmlicht in diese hinein, die Dicke des dunkeln Raumes ist daselbst

1) Hittorf, Wied. Ann. 7, 602, 1879.
2) O. L., Wied. Ann. 55, 388, 1895.
3) O. L., Wied. Ann. 56, 327, 1895.

geringer. Da von der Dicke der elektrischen Luftschicht auch der Widerstand gegen die Entladungen abhängig ist, so erreicht in diesen einspringenden Winkeln die Stromstärke weit grössere Werthe als an den übrigen Theilen der Oberfläche, wie man daraus erkennt, dass dort das blaue Glimmlicht besonders intensiv auftritt und sich scheinbar sogar zu rothem positiven Licht verdichten kann.

Im Innern einer röhrenförmigen Kathode hat der dunkle Raum so geringe Dicke, dass sich gemäss Taf. V Fig. 4 fast alle Stromlinien in die Röhre hineinziehen und diese vollständig von rothem positivem Licht erfüllt erscheint.

Goldstein (1876) sagt:

„Zum Schluss deute ich kurz die merkwürdige Wirkung an, welche zwei einander zugekehrte Flächenelemente einer oder verschiedener Kathoden selbst aus Entfernungen von einigen Centimetern noch auf einander ausüben. Die Helligkeit des Lichtes wird auf den einander zugekehrten Seiten z. B. von ebenen Blechen, ausserordentlich verstärkt — trotzdem die einander zugekehrten Seiten Ströme von entgegengesetzter Richtung aussenden —, auf den von einander abgewandten Flächen wird die Helligkeit vermindert.

Sehr frappant ist auch die starke Verengung, welche die zweite Schicht des Kathodenlichts an den einander zugekehrten Flächen erleidet. Die vorstehende Beobachtung kann unter Anderm benutzt werden, Kathodenlicht von ausserordentlich starker, für Spektralbeobachtungen werthvoller Helligkeit zu erzeugen, indem man eine niedrige, etwa $^3/_4$ cm weite Blechröhre als Kathode benutzt."

Verwendet man Elektroden mit zwei oder mehr Spitzen, so geht die Entladung nur von einer der Spitzen aus, zuweilen alternirend von der einen oder anderen. Ueberzieht das negative Glimmlicht bei grösseren Verdünnungen die ganze Elektrode, so erscheint es ebenso wie bei zwei einander zugekehrten Elektroden in dem einspringenden Winkel mit doppelter Intensität, das positive bleibt dagegen im einspringenden Winkel aus.

Mit der Verschiedenheit der Lichterscheinungen an Kathode und Anode hängt auch die Erscheinung zusammen, dass an der Kathode die grösste Wärmeentwickelung und der grösste Potentialabfall (das „Kathodengefälle") sich findet. Das Auftreten dieser Anomalien dürfte sich vielleicht daraus erklären, dass die entgegengesetzt elektrischen Gasatome, welche gegen die Elektroden hinwandern, ungleiche Grösse oder ungleiche elektrische Kapazität haben. Da jedes solche Atom gleichviel Elektrizität enthält, ist die Energie in demjenigen von kleinerem Durchmesser oder kleinerer Kapazität grösser.[1]) Sind nun die kleineren

1) Vgl. S. 165. Es verhält sich damit, wie mit der Vertheilung der Bewegungsenergie. Ein explodirender Körper zerspringe in zwei Theile von den Massen m und M und den Geschwindigkeiten V und v. Die Bewegungsgrössen $m \cdot V$ und $M \cdot v$ sind einander gleich, nicht aber die Energiemengen $\frac{m \cdot V^2}{2}$ und $\frac{M \cdot v^2}{2}$, denn es ist $\frac{m \cdot V^2}{2} = \frac{M}{m} \cdot \frac{M \cdot v^2}{2}$. Gleiches würde für die Mengen potentieller Energie gelten, wenn die beiden Sprengstücke

Atome positiv, d. h. wandern sie gegen die Kathode zu, so muss dort die grösste Wärmemenge zum Vorschein kommen. Kohlen- und Metalldämpfe scheinen sich derart zu spalten, dass der kleinere Theil negativ wird. Diese Hypothese würde also die weitere (kaum haltbare) Annahme nöthig machen, dass auch die Moleküle chemisch einfacher (sogar einatomiger) Gase durch die Entladung gespalten werden, und zwar in Theile von ungleicher Grösse.[1] In diesem Falle wären natürlich die „Ionen" nicht identisch mit den elektrolytischen, man müsste vielmehr eine „Dissociation höherer Ordnung" (wie sich Warburg ausdrückt) annehmen.

Läuft die Entladung wie bei dem oben S. 47 erwähnten Hittorf'schen Versuche in sich zurück, so können sich die positiv elektrischen Ionen mit den im Gase auftretenden negativ elektrischen vereinigen, man kann nicht mehr zwischen positivem und negativem Glimmlicht unterscheiden; die Entladung sieht, auch wenn sie nicht in sich zurückläuft, sondern nur einen Theil des ringförmigen Rohres erfüllt, an beiden Enden gleich aus und der Widerstand, der sich der Erzeugung der Entladung in Röhren mit Elektroden entgegensetzt (in Form des Kathodengefälles), tritt nicht auf.[2]

Wollen wir nun aber die Erscheinungen in dieser Weise erklären, so müssen wir nothwendig annehmen, dass die Glimmentladung niemals stetig sein kann, sondern dass die Entladungen stets diskontinuirlich sind, so dass (wenn die Ansicht richtig ist) das Auftreten der polaren Unterschiede geradezu als Beweis für die Diskontinuität der Entladungen betrachtet werden kann. Wäre sie nämlich nicht pulsirend, so würde ein in die Entladungsbahn gebrachter elektrischer Körper (elektrische Luft) niemals den Verlauf der Niveauflächen und damit der Stromlinien ändern können, denn entweder ist er ein Leiter, so dass er seine Elektrizität sofort an das umgebende leitende Gas abgiebt, oder er ist ein Isolator, so dass er durch Influenz in leitenden Gasen gerade so viel entgegengesetzte Elektrizität auf seine Oberfläche heranzieht, als dort vorhanden ist, welche die Wirkung der letzteren vollständig kompensirt. Im Falle intermittirender Entladung vermag dagegen z. B. ein elektrisirtes Luft-

---

entgegen einer anziehenden Kraft, etwa der Gravitationskraft, sich soweit von einander entfernen, bis ihre kinetische Energie verbraucht ist.

Werden durch eine elektromotorische Kraft zwei Körper von den Kapazitäten c und C zu den Spannungen E und e geladen, so sind die aufgenommenen Elektrizitätsmengen $c \cdot E$ und $C \cdot e$ gleich, nicht aber die Energiemengen $\frac{c \cdot E^2}{2g}$ und $\frac{C \cdot e^2}{2g}$ (in Kilogrammmetern), denn es ist $\frac{c \cdot E^2}{2g} = \frac{C}{c} \cdot \frac{C \cdot e^2}{2g}$. Insofern die Energie in diesem Falle in dem ganzen die Konduktoren umgebenden Raum enthalten ist, stösst die Betrachtung allerdings auf eine gewisse Schwierigkeit.

1) Vgl. auch O. L., Elektrizität und Licht, § 176, S. 305.

2) Nähere Untersuchungen fehlen noch. Möglicherweise verhalten sich die beiden Stellen der Wandung, wo die Entladung (falls sie nicht in sich zurückläuft) endigt, wie Elektroden. Die in sich zurücklaufende könnte zusammengesetzter Natur sein.

theilchen die Kraftlinien abzulenken und der Entladung andere Richtung zu geben oder sie an einer Stelle völlig zu hindern oder hervorzurufen, wo dies sonst nicht der Fall wäre. Diese Wirkung kann auch nur durch die von der Entladung selbst hervorgebrachten elektrisirten Luftschichten hervorgerufen werden, nicht durch andere elektrisirte Körper, z. B. ein in die Entladungsbahn gebrachtes elektrisirtes Glas- oder Metallstückchen, welches schon bei der ersten (nicht wahrnehmbaren) Partialentladung seine Elektrisirung vollständig verlieren würde, somit bei den ferneren, die wahrnehmbare Lichterscheinung bildenden Entladungen nicht mehr zur Wirkung gelangen könnte. Selbst eine auf konstanter Spannung erhaltene, etwa mit einem Batteriepol in Verbindung stehende Elektrode könnte, weil sie sofort zum Ausgangspunkt einer Entladung dieser Batterie würde, welche das Potential der ganzen leitenden Gasmasse und des Gefässes auf anderen Wert bringt, ebenfalls den Verlauf der Entladung nicht stören.

Die von mir angenommenen elektrisirten Luftschichten verlieren zwar ihre Elektrizität jeweils durch die auf ihre Bildung folgende Entladung gleichfalls, doch erzeugt jede solche Entladung sofort wieder eine neue elektrisirte Luftschicht, so dass das Entladungsfeld niemals frei ist von diesen unsichtbaren Hindernissen der Entladung.

Man kann nun fragen, wird eine Deformation des dunklen Raumes und des negativen Glimmlichtes auch hervorgerufen, wenn man durch Blasen die elektrische Luftschicht beseitigt? Die Antwort liegt scheinbar nahe, man möchte annehmen, dass dies möglich ist und doch lässt sich der Versuch nicht ausführen.

Die Geschwindigkeit, mit welcher sich die elektrisirte Luftschicht wieder herstellt, nachdem sie auf mechanischem Wege entfernt wurde, ist dieselbe, mit welcher überhaupt Entladung erfolgt, also gegenüber allen Geschwindigkeiten, die wir der Gasmasse auf mechanischem Wege mittheilen können, ungeheuer gross. Die Erscheinungen sind deshalb in ruhendem und bewegtem Gase nahezu dieselben. Eine Aenderung ist nur insofern zu bemerken, als durch Blasen die erhitzte und deshalb den Strom besser leitende Luftschicht abgelenkt und hierdurch die Bahn der Entladung verschoben wird.[1])

Wurde z. B. als Kathode eine Messingröhre, als Anode die bereits oben erwähnte Messingschale benutzt, so trat zunächt das rothe Glimmlicht auf letzterer, wie Taf. III Fig. 12 zeigt, seitlich auf, da die Entladungsbahn durch den an der Kathode sich hinaufziehenden heisseren Luftstrom nach oben geführt wurde.

Leitete man nun aber einen Luftstrom durch das Messingrohr gegen die Schale, so wurde dieser durch die Entladung im Innern des Rohres sehr stark erhitzt, und das positive Glimmlicht erschien da, wo er die Schale traf, d. h. am Boden derselben in der Verlängerung der Kathode (Taf. III Fig. 13).

---

1) O. L., Wied. Ann. **56**, 329, 1895.

Im umgekehrten Falle, d. h. wenn die Röhre positiv war, bedeckte sie sich mit kleinen Häufchen von rothem Glimmlicht, währenddem die Innenseite der Schale bis nahe zum Rande mit blauem Glimmlicht bedeckt war (Taf. V Fig. 1). Wurde nun Luft eingeleitet, so rückten die rothen Lichtpunkte an der Anode in die Höhe und verschmolzen zu einer einzigen Glimmlichtschicht und das negative Glimmlicht an der Schale nahm beträchtlich an Ausdehnung zu, so dass es über den Rand hervortrat und sich zuweilen noch weit an der Aussenseite herunterzog (Taf. V Fig. 2). Offenbar wurden sämmtliche Stromlinien durch den beim Auftreffen auf die Schale nach oben abgelenkten Luftstrom nach oben mitgenommen.

Vermag nun ein gewöhnlicher Luftstrom das Glimmlicht nicht zu stören, so geschieht dies doch durch elektrischen Wind. Hierdurch wenigstens glaube ich die in Fig. 127 dargestellte gegenseitige Zurückdrängung der beiden Glimmlichter erklären zu können, welche ich in einem grossen elektrischen Ei bei Anwendung von Messingkugeln von 1 cm Durchmesser beobachtete.[1])



Fig. 127.

Aus demselben Grunde, weshalb Luftströmungen die Entladung beeinflussen, bleibt auch fortwährende Aenderung der Kathodenoberfläche ohne erheblichen Einfluss.[2])

Wurde z. B. als Kathode ein mit Quecksilber gefülltes Eisengefäss von 9 cm Durchmesser verwendet, so erschienen auf demselben beliebig zerstreute blaue Glimmlichtflecke *b b b* Taf. IV Fig. 6, gegen welche sich röthliche positive Lichtfäden von der Anode hinzogen. Wurde nun in der Richtung des Pfeiles von unten Quecksilber eingeleitet, welches eine schwache Verwölbung *a* auf der Quecksilberoberfläche hervorbrachte, so zog sich sofort das blaue Glimmlicht dahin und blieb dort fest stehen, während die Flecke *b b b* beständig im Wandern begriffen gewesen waren. Dieser Einfluss erklärt sich augenscheinlich durch die grössere Reinheit der Quecksilberoberfläche an der Stelle *a*. Bei stärkeren Strömen zog sich die Entladung nach dem Punkte *c*, d. h. dahin, wo das abfliessende Quecksilber sich in Tropfen auflöste, also eine völlig reine Oberfläche entstand.

Gleiches war der Fall, wenn man das zufliessende Quecksilber als Springbrunnen in der Mitte der Schale aufsteigen liess. Bei Glimmentladung erschien der ganze zusammenhängende Strahl des Springbrunnens mit blauem Glimmlicht bedeckt in gleicher Weise wie eine drahtförmige Kathode. Bei Lichtbogenentladung nahm der Lichtbogen seinen Ausgang von der Stelle des Strahles, wo sich derselbe in Tropfen auflöste.[3])

1) O. L., Wied. Ann. **22**, 318, 1884.

2) O. L., Wied. Ann. **56**, 330, 1895.

3) Man hat damit ein Mittel, diese Stelle zu erkennen, denn bei Beobachtung mit freiem Auge erschien der Strahl auf sehr viel (etwa zehnfach) grössere Länge zusammenhängend.

Nach Crookes erscheint der dunkle Kathodenraum über einer mit Russ bedeckten Stelle der Kathode grösser.

Warburg[1]) beobachtete bei einer an einer Stelle mit Natrium verunreinigten Kathode, dass das negative Glimmlicht immer nur von dieser verunreinigten Stelle ausging und auch bei wachsender Stromstärke sich nicht weiter ausbreitete, sondern nur an Dicke zunahm. In gleichem Maasse wie die Dicke wuchs auch die Potentialdifferenz zwischen seiner Oberfläche und der Oberfläche der Kathode.

Bei eigenen Versuchen[2]) über Glimmentladung an einer siedenden Natriumfläche fand ich, dass sich alle oxydirten, d. h. mit Tropfen von geschmolzenem oder mit Krusten von erstarrtem Aetznatron bedeckten Stellen mit Glimmlicht überzogen, während die blanken Theile der Oberfläche dunkel blieben.[3])

23. Einfluss der Versuchsumstände.

A. Einfluss der Stromstärke und Elektrodendistanz.

Hinsichtlich des Einflusses der Entladungsintensität findet E. Wiedemann (1883):

„Ist der Druck so niedrig, dass der dunkle Kathodenraum etwa 2 cm dick ist, während die Glimmlichtstrahlen selbst durch den Trennungsraum von der positiven Entladung geschieden sind oder auch gar kein positives Licht im Rohr mehr zu sehen ist, und lässt man dann allmählich die Maschine langsamer und langsamer gehen, so wächst aus der positiven Elektrode positives Licht heraus, das negative Licht dehnt sich beträchtlich aus, bis die Grenzen des positiven und negativen Lichtes verschmelzen. Der Zustand lässt sich beliebig lange erhalten.“

Sind, wie aus dem Dargelegten hervorzugehen scheint, positives und negatives Glimmlicht nicht gleichzeitig stattfindende Erscheinungen, so ist leicht zu verstehen, dass dieselben bei genügender Annäherung der Elektroden nicht zu einer einzigen Lichtmasse verschmelzen, sondern das positive Licht scheinbar in die negative Glimmlichthülle eindringt, wenigstens bis zu der zweiten Schicht, dem sog. dunkeln Kathodenraum.

Zuerst wurde diese Erscheinung wohl von Hittorf[4]) beobachtet. Klar ausgesprochen hat sie zuerst Goldstein (1876). Derselbe sagt:

1) Warburg, Wied. Ann. **40**, 10, 1890.

2) O. L., Verh. d. Karlsruher Nat. Ver. **12**, 1896.

3) Vielleicht hängt diese Erscheinung mit der besseren Wärmeleitung des blanken Metalls zusammen.

4) Hittorf. Pogg. Ann. **136**, 197, 1869. Vgl. ferner: E. Wiedemann, Wied. Ann. **20**, 768, 1883 und O. L., Molekularphysik II, 289 ff.

„Während man bisher die Existenz des positiven und negativen Lichts als räumlich durchaus getrennt anzusehen pflegte, so dass zwischen beiden sich gewöhnlich ein dunkler Raum befand oder höchstens Berührung beider Lichter eintrat, habe ich gefunden, dass das positive und negative Licht einander auf beliebig weite Strecken völlig durchdringen können."

Rückt die Anode der Kathode immer näher, bis sie in den dunkeln Kathodenraum eindringt, so bleibt ihre Oberfläche, soweit sie sich in dem dunkeln Raume befindet, vollständig dunkel, dort kann also höchstwahrscheinlich kein Strom aus ihr austreten.

Ist, wie im Vorigen angenommen wurde, der dunkle Raum von positiv elektrischer Luft erfüllt, deren Spannung derjenigen auf der Anode vor Beginn der Entladung vergleichbar ist, so ist diese Erscheinung nicht auffällig.

Hittorf[1]) schreibt: „Die sämmtlichen Strahlen des Glimmlichts, welche von den Theilchen der negativen Fläche ausgehen, suchen Verbindung mit dem positiven Lichte. Kann letztere nicht eintreten, so fällt auch das Glimmen fort. Diese Verbindung vermag das Auge unter gewöhnlichen Verhältnissen in den Röhren nicht zu erkennen, da der positive Strom durch die äusserste leuchtende Schicht des Glimmlichts hauptsächlich hindurchzieht, aber bei seiner geringen Dichte und dem geringen Widerstande ohne Lichtentwickelung bleibt."

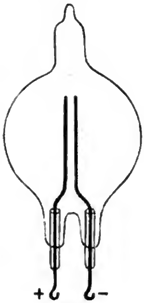


Fig. 128.

Ueber den scheinbaren Widerstand des dunklen Kathodenraumes schreibt Hittorf[2]): „Man bemerkt nun sehr deutlich, wie das positive Licht nur bis zur mittleren dunkeln Schicht des Glimmlichtes sich ausdehnt und ganz scharf am äussern Rande derselben abschneidet. Ist der Abstand der Elektroden so klein, dass der positive Draht in diese dunkle Schicht hineinragt, so bleibt er, soweit er hineinreicht, ganz frei von Licht, während das ausserhalb liegende Stück sich mit einer leuchtenden Hülle umgiebt."

Besonders deutlich zeigte sich diese Erscheinung bei folgendem Versuch. Zwei parallele Aluminiumdrähte waren in eine Kugel von 10 cm Durchmesser eingeschmolzen, wie Fig. 128 zeigt.

„Werden dieselben bei grosser Dünnheit der Luft als Elektroden benutzt, so fluthet das Glimmlicht der Kathode durch den ganzen Kolben und versetzt die Wandungen in lebhafte grüngelbe Fluoreszenz. Das weisse positive Licht verfolgt nicht den kürzesten Weg zur Kathode, sondern erscheint auf der Seite des positiven Drahtes, welche von dem negativen abgewendet ist, und fluthet, sich von letzterem entfernend, nach den Wandungen des Glases zu der äusseren

1) Hittorf, Pogg. Ann. **136**, 207, 1868.
2) Hittorf, Wied. Ann. **21**, 95, 1884.

Schicht des Glimmlichtes. Ja, als die Verdünnung soweit, wie die Pumpe sie gestattete, hergestellt war, blieb nicht nur der Zwischenraum der Elektroden, sondern auch die ganze Strecke der Anode, welche mit dem negativen Drahte parallel läuft, dunkel, und allein an der Einknickung, welche Stelle die grösste Entfernung von der Kathode besitzt, trat eine weisse, nach den Wandungen fluthende Flamme auf.“

Aehnliches beobachtete E. Wiedemann (1883) in einer U-förmigen Entladungsröhre, deren eine Elektrode durch Heben und Senken des darin enthaltenen Quecksilbers der andern genähert oder von derselben entfernt werden konnte.

„Lässt man einer negativen Platte *k* eine positive Elektrode *a* entgegenschwimmen, die aus einem Drahte hergestellt ist, welcher bündig mit dem ihn umgebenden und in das Quecksilber tauchenden Glasrohr abgeschnitten ist, so treten folgende Erscheinungen auf:

„Befindet sich *a* in grosser Entfernung von *k*, so ist auf *a* eine Kuppe positiven Lichtes vorhanden und Schichten lagern sich zwischen *a* und die Glimmlichtstrahlen, von denen schon die erste den Querschnitt der Röhre ganz erfüllt und stark gekrümmt ist. Schwimmt *a* in die Höhe, so ändern die Schichten nicht ihre Lage, verschwinden aber eine nach der andern, sobald sie von der positiven Elektrode durchbrochen werden; dies ist auch bei der letzten der Kathode zunächst liegenden Schicht der Fall. Sobald das Drahtende diese durchsetzt hat, ist auf dem Ende des Drahtes *a* nur noch ein kleines Büschel positiven Lichtes zu sehen. Auch dieses wird kleiner und kleiner, ohne indess je ganz zu verschwinden, das positive Licht strömt so lange nach oben, bis das Ende der positiven Elektrode die Grenze des dunkeln Kathodenraumes um die negative Elektrode durchbrochen hat, dann fluthet es auf einmal nach unten, wie ein kleiner leuchtender Wasserfall. Steigt die Anode noch etwas höher und nähert sich der negativen Platte, so hört die Entladung auf von ihr auszugehen und findet in äusserst unsteter Weise zwischen dem oberen Ende der Quecksilbersäule im U-Rohr und *k* statt.“

Wird eine Platte als Anode gewählt, so sind die Erscheinungen bei grösserer Distanz dieselben.

„Tritt aber die Platte in den dunkeln Raum, so beobachtet man stets eine Deformation der Kathodenschichten, das blaue Licht wird hinter die Kathode getrieben, während es sich sonst nur vor derselben befindet, und an der Wand bildet sich ein schmaler Streifen positiven Lichtes, wie ihn auch Hittorf bei grosser Annäherung von Kathode und Anode beobachtet hat. Die Kathodenstrahlen selbst, die gewöhnlich von der Mitte der Kathode ihren Ursprung nehmen, werden ganz an den Rand derselben gedrängt, von dem sie wie ein Strahlenkranz ausgehen, während die Mitte der Kathode vollkommen dunkel erscheint. Kathode und Anode ziehen sich ferner mit grosser Kraft an. Hat man sie einmal in Berührung gebracht und will man sie wieder trennen, so springen zwischen ihnen Funken über, während die Kathode dabei auf- und niederschwirrt.“

Hittorf[1]) versuchte auch, ob der Widerstand des dunkeln Kathodenraumes gegen die positive Entladung, auf welchem die eigenthümlichen Eigenschaften der sog. „absoluten Vakuumröhren" beruhen, auch noch bestehen bleibt, wenn man die Entladung durch Ueberschieben einer Glasröhre über die (drahtförmige) Kathode auf eine kleine Stelle der letzteren beschränkt. Es fand sich, dass der Widerstand immer nur da auftritt, wo auch Entladung stattfindet. Er schliesst: „Demnach müssen die Gastheilchen in dem Vorgange, welcher negatives Glimmlicht genannt wird, begriffen sein, wenn die positive Entladung verhindert werden soll. Dieselben Gasmoleküle nehmen gleichzeitig beide Arten der Leitung nicht an."

Verschiedene von mir selbst ausgeführte Versuche lassen den scheinbaren Widerstand des dunkeln Kathodenraumes gegen das positive Glimmlicht ebenfalls sehr deutlich erkennen (O. L., Wied. Ann. **56**, 304, 1895).

Werden zwei grosse halbkugelförmige Elektroden aus Messing angewandt, von welchen sich die als Anode dienende mit dicht anliegendem rothen Glimm-



Fig. 129.



Fig. 130.

licht bedeckt, während die negative sich in dem durch die Dicke des dunkeln Kathodenraumes gegebenen Abstand mit blauem Glimmlicht überzieht, so fehlt an dem in diesen Raum eintauchenden Theile der Anode das rothe Glimmlicht (Taf. IV Fig. 7). Die Kathode ist dabei gleichmässig mit dem bekannten röthlichen Lichtsaume bedeckt, welcher keine Aenderung erleidet, auch wenn man die Elektroden noch wesentlich näher zusammenschiebt. Bei sehr geringer Distanz (etwa 1 mm bei 8 cm Durchmesser der Halbkugeln) entsteht indess auch dort eine dunkle Stelle, vermuthlich weil durch die starke Wärmeentziehung durch die Halbkugeln die dünne Luftschicht wesentlich niedrigere Temperatur annimmt als die Umgebung.

Ist die Kathode eine Röhre, welche in die Höhlung einer halbkugelförmigen als Anode dienenden Schale hineinragt (Taf. V Fig. 3), so erscheint der Durchschnitt des dunklen Kathodenraumes mit der Oberfläche der Schale als dunkler Ring, während die übrige Oberfläche der Schale mit röthlichem Glimmlicht bedeckt ist. Von der dem Hohlraume der Röhre gegenüberliegenden Stelle der Schale zieht sich positives röthliches Licht in die Röhre hinein, so dass also der dunkle Raum geradezu eine Scheidewand zwischen den beiden von der Anode ausgehenden Strömungen bildet, von welchen sich die eine zur äusseren, die andere zur inneren Oberfläche der Röhre zieht.

Auch bei Versuchen mit mikroskopisch kleinem Abstand der Elektroden zeigte sich[2]) der Widerstand des dunkeln Kohlenraumes gegen das Eindringen

1) Hittorf, Wied. Ann. **21**, 95. 1884.

2) O. L., Wied. Ann. **11**, 693, 1880.

des positiven Lichtes sehr deutlich, wie schon aus den Figuren (Taf. II Fig. 10α, β und Fig. 5—8 S. 12) zu erkennen ist, sowie aus den Figg. 129 u. 130, welche die Erscheinung bei verschiedenen Elektrodenformen und bei verschiedener Art der Elektrizitätsquelle zeigen.

B. Einfluss der Gasdichte.

Verdünnt man das von Glimmentladung durchsetzte Gas, so nimmt die Dicke der Glimmlichtschichten zu. Insbesondere gilt dies vom negativen Glimmlicht, wohl deshalb, weil die mittlere Weglänge der die positive Lufthülle in der Nähe der Kathode bildenden Moleküle grösser wird.

Stellt der Entladungsgradient das Maass der die Bestandtheile der Moleküle verbindenden Kraft dar, so sollte man erwarten, dass er von der Gasdichte unabhängig ist. Dies ist indess keineswegs der Fall, vielmehr nimmt er zunächst mit der Dichte bis zu einem Minimum, dem „günstigsten Druck" ab und dann wieder, wenigstens bei engen Gefässen, auf welche sich die bisherigen Untersuchungen beziehen, zu.

Die Aufklärung finden wir wieder in Faraday's Theorie, welcher zufolge der Polarisationszustand, d. h. die elektrische Energie, wesentlich in den Molekülen, nicht in dem dazwischen befindlichen Aether vorhanden ist.[1] Denkt man sich also zwei Kondensatorplatten, zwischen welchen Gas in einem hermetisch verschlossenen Raum enthalten ist und deren Spannung gerade dem Entladungsgradienten entspricht, etwa auf doppelten Abstand von einander entfernt, und auch die Länge des Gasbehälters verdoppelt, also die Gasdichte auf die Hälfte gebracht, so wird auf jedes Molekül derselbe Potentialabfall treffen, wie zuvor, obschon im Ganzen das Potentialgefälle auf die Hälfte vermindert ist. Bei Verminderung der Dichte auf die Hälfte würde also bereits die Hälfte des ursprünglichen Spannunggefälles im Stande sein Entladung hervorzurufen, der Entladungsgradient müsste der Gasdichte umgekehrt proportional sein. Bei sehr engen Gefässen müssen Störungen eintreten, von welchen später die Rede sein wird.

Ueber den Einfluss der Verdünnung schreibt Hittorf (1869):

„Bei gewöhnlichem Drucke bedeckt in der Lichthülle, welche dem momentanen Blitze des Induktionsapparates folgt, das blaue Glimmlicht auf der Oberfläche der Kathode nur ein Fleckchen, dessen Grösse wenig vom Querschnitt der Hülle verschieden ist, und man muss mit Neef und Du Moncel eine Vergrösserung zu Hilfe nehmen, um zwischen den verschiedenfarbigen Lichtern den dunkeln Raum zu entdecken. Je weiter die Verdünnung des Gases voranschreitet, über eine desto grössere Fläche der Kathode dehnt dieselbe Entladung ihr Glimmlicht aus. Es vergrössert sich besonders schnell, wenn die Spannkraft unter 2 mm gesunken ist. ...Man wird die Oberfläche eines beliebig

1) Vgl. auch Paalzow und Neesen, Wied. Ann. **56**, 276, 1895.

langen Drahtes damit umhüllt sehen, wenn die Verdünnung hinreichend weit und der Durchmesser der Röhre gross genug genommen wird.[1])

Das Glimmlicht dehnt sich mit der Abnahme der Dichtigkeit nicht allen über die Oberfläche der Kathode, sondern auch in dem umgebenden Raume weiter aus. Die Dicke der blauen Hülle, welche den negativen Pol umfasst, nimmt wieder besonders schnell zu, wenn die Spannkraft unter 2 mm gefallen ist, und füllt bei den äussersten Verdünnungen die weitesten Röhren aus.“[2])

C. Einfluss der Temperatur.

Zunahme der Temperatur wirkt bei gleichbleibender Gasdichte nur unerheblich auf die Entladungserscheinungen ein, vorausgesetzt, dass das Gas rein bleibt und nicht etwa von den Elektroden ausgehende Dämpfe sich demselben beimischen.

Auch der Entladungsgradient scheint durch die Temperatur nicht wesentlich beeinflusst zu werden, obschon die Moleküle bei höherer Temperatur zur Zerspaltung geringere Kraft erfordern sollten.[3])

Unter gewöhnlichen Umständen, d. h. bei konstantem Druck, wirkt Temperaturerhöhung natürlich ebenso wie Verdünnung des Gases.

So entsteht z. B. an einer positiven Nadel in gewöhnlicher Luft Glimmentladung in Form eines kleinen leuchtenden Punktes an der Spitze (Fig. 131). Hält man vor diese eine Glasplatte, so überzieht sich die ganze Oberfläche der Nadel mit Glimmen, da nunmehr die starke Temperaturerhöhung an der Spitze, welche vorher die Ursache war, dass dort allein Entladung erfolgte, beseitigt ist.



Fig. 131.

Bichat (1887) fand, dass sich der Potentialwerth, bei welchem das elektrische Flugrad sich zu drehen beginnt, mit steigender Temperatur beträchtlich vermindert und dass bei Rothgluth auch die Differenz zwischen + und — Ladung verschwindet. In Wasserstoff ist der Anfangswerth kleiner als in Luft, in dieser kleiner als in Kohlensäure.

Cardani[4]) untersuchte die Entladungen in erhitzter Luft. Es ergab sich nur geringe Aenderung des Entladungspotentials. Er schliesst daraus, dass letzteres nicht von der Zahl der molekularen Zusammenstösse der Moleküle, sondern nur von der Masse des Gases abhängt.

---

1) Ich beobachtete einmal eine etwa 3,5 m lange Kathode in einem 8 cm weiten Entladungsrohr vollständig mit negativem Glimmlicht bedeckt (O. L.).

2) Unter der Ueberschrift „Die Wanderung des negativen Induktionslichtes im luftverdünnten Raum“ beschrieb auch Poggendorff die zunehmende Ausbreitung des negativen Glimmlichts auf der Kathode mit zunehmender Verdünnung (Pogg. Ann. **138**, 642, 1869). Ueber die ähnlichen Experimente von Crookes siehe Proc. Roy. Soc. **28**, 103, 1878; Compt. rend. **88**, 174, 283, 378, 743, 1879; Proc. Roy. Soc. **30**, 469, 1880; ferner auch Puluj, Wien. Sitzb. **81**, 1880.

3) Vgl. auch Paalzow und Neesen, Wied. Ann. **56**, 282, 1895.

4) Cardani, Beibl. **12**, 395, 1888.

24. Chemische Wirkungen.

Besteht der Entladungsprozess in einem Zerfall der Moleküle, so wird man auch chemische Aenderungen in dem von der Entladung durchsetzten Gase erwarten müssen, obschon jedenfalls der weitaus grösste Theil der getrennten Atome sich alsbald wieder zu neuen Molekülen der ursprünglichen Verbindung vereinigt.

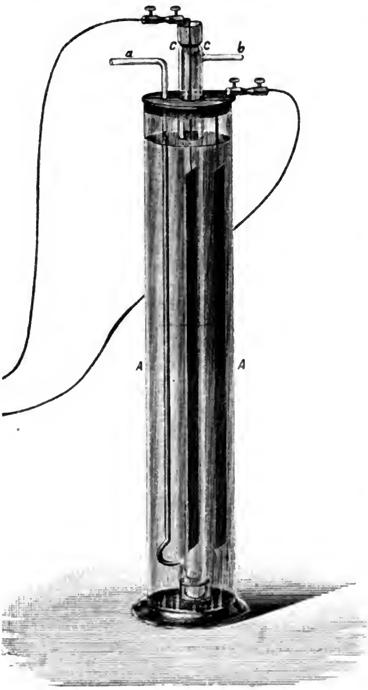


Fig. 132.

Dass nicht wie im Falle der Elektrolyse bei Entladungen in zusammengesetzten Gasen Ausscheidung der Spaltungsprodukte an den Elektroden eintritt, dürfte darauf beruhen, dass die Ionen, welche sich an den Elektroden entladen, obschon sie naturgemäss nicht mehr als das „Elementarquantum" aufnehmen können, in Folge der im Verhältniss zur Elektrolyse sehr starken Kraft des elektrischen Feldes mit solcher Kraft fortgeschleudert werden, dass sie sich nicht mit neu ankommenden entgegengesetzt elektrischen zu neutralen Molekülen vereinigen, sondern der entgegengesetzten Elektrode zustreben.

Bereits Franklin[1]) hatte vermuthet, dass der sog. spezifische Geruch der Elektrizität durch Einwirkung der Entladungen auf die Luft entstehe. Indess erst durch Schönbeins Untersuchungen[2]) wurde klargelegt, dass es sich hier um Bildung einer besonderen Modifikation des Sauerstoffs, des Ozons, handle.

Um dasselbe auf diesem Wege darzustellen, benutzt man elektrodenlose Röhren, durch welche reiner Sauerstoff geleitet wird.

1) Franklin, Exper. and observ. 84, 1749.

2) Schönbein, Erzeugung des Ozons, Basel, 1844. Ueber neuere Apparate zur fabrikmässigen Ozonerzeugung siehe Andréoli, Zeitschr. f. Elektrochemie 4, 124, 1897.

Fig. 132 zeigt die von Werner Siemens (1857) angegebene Ozonröhre. In den Deckel des Standcylinders *AA* ist eine unten geschlossene Glasröhre eingesetzt, die im Innern eine zweite ähnliche, bei *cc* angelöthete Röhre enthält, welche, ebenso wie auch der Standcylinder, mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt wird. Zwei Platinelektroden gestatten den beiden Schwefelsäuremassen entgegengesetzte Elektrizitäten mittelst eines Induktionsapparates zuzuführen. Durch den Zwischenraum zwischen beiden Röhren lässt man Sauerstoff strömen, welcher durch *a* ein-, durch *b* austritt oder umgekehrt. Die Luft bildet hierbei einen Theil des aus den beiden Schwefelsäuremengen gebildeten Kondensators, welcher sich abwechselnd im einen und im entgegen-



Fig. 132a.

gesetzten Sinne ladet, wobei dann, wenn die Potentialdifferenz genügend gross ist, fast lichtlose Glimmentladungen zwischen den Glaswänden eintreten, welche man, wie auf S. 17 dargelegt, als elektrisches Effluvium zu bezeichnen pflegt.

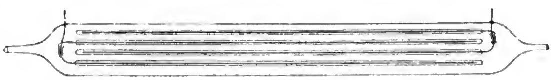


Fig. 132b.

Eine modifizirte Form der Ozonröhre von Wislicenus wurde schon auf Seite 24 besprochen. Fig. 132a zeigt eine Form, bei welcher die flüssigen Belegungen durch metallene ersetzt sind.

v. Babo giebt dem Apparate die in Fig. 132b dargestelllte Form. In ein etwa 50 cm langes und 1 cm weites Glasrohr werden etwa 12 je 40 cm lange und $^1/_2$ mm weite, einseitig geschlossene Glasröhrchen (in der Fig. nur vier) eingelegt, in welche Kupferdrähte hineinführen, die an den Enden mit zwei Platindrähten verbunden sind. Diese durchdringen die Wand der äusseren Röhre und werden mit den Polen des Induktoriums verbunden. Durch das weite Glasrohr leitet man den Sauerstoff.

Findet die Entladung in Luft statt, so bildet sich neben Ozon auch Untersalpetersäure. Beim Durchgang starker Entladungen durch grosse Rezipienten mit stark verdünnter Luft beobachtet man bald das Auftreten gelbbrauner Dämpfe mit überraschend dunkler, wohl durch die Erhitzung bedingter Färbung, welche den ganzen Raum erfüllen.[1])

---

1) Vgl. auch Lord Rayleigh, Journ. Chem. Soc. 1897, 181.

Die meisten zusammengesetzten Dämpfe werden durch die leuchtende Entladung ausserordentlich rasch zersetzt.

Plücker[1]) schreibt: „Gase, die aus zwei einfachen Gasen zusammengesetzt sind (Wasserdampf, Ammoniakgas, Stickoxydul, Stickoxyd, salpetrige Säure), fallen augenblicklich in ihre einfachen Bestandtheile auseinander und bleiben dann unverändert, wenn diese (Ammoniakgas) sich nicht mit dem Platin (der Elektroden in den Geissler'schen Röhren) verbinden. Ist einer derselben Sauerstoffgas (im Wasserdampf), so verschwindet dieses allmählich und bloss das andere Gas bleibt.

Wenn die Gase aus Sauerstoff und einer festen einfachen Substanz zusammengesetzt sind, so findet die vollständige Zersetzung durch den Strom nur langsam statt, indem das Sauerstoffgas zu dem Platin der neg. Elektrode geht."

Auch nach Morren[2]) werden alle Gase, welche nicht einfach sind, sogleich und ohne Ausnahme zersetzt, wenn inmitten von Quecksilberdämpfen ein Strom durch sie hindurchgeht. Es bleiben also nur Stickstoff, Wasserstoff und Sauerstoff übrig, aber auch letzterer verschwindet sehr bald, da er die Quecksilberdämpfe oxydirt.

Der Verlauf der Zersetzung lässt sich durch die Aenderung der Aureole am neg. Pol erkennen. Beispielsweise ändert sich in einem kohlensäurehaltigen Rohr die Aureole nicht, in einem kohlenoxydhaltigen geht sie aber allmählich in die der Kohlensäure entsprechende über. Ebenso in Wasserstoff und Acetylen. Bei ersterem bleibt die Aureole ungeändert, bei letzterem geht sie allmählich in Folge der Abscheidung von Kohlenstoff in die Wasserstoff-Aureole über.

Acetylen giebt eine flüssige und feste Substanz; Phosphorwasserstoff giebt festen Phosphorwasserstoff und selbstentzündlichen; Methylwasserstoff giebt Grubengas, Wasserstoff und zugleich eine Säure; Stickoxydul zerfällt in Stickstoff und Sauerstoff; Stickoxyd in Stickoxydul, Stickstoff und Sauerstoff etc.

Ein Gemisch von Kohlensäure und Grubengas liefert eine zähe Flüssigkeit. Stickstoff vereinigt sich theilweile mit Ammoniak; Kohlenoxyd und Wasserstoff liefern eine feste Verbindung; Kohlenoxyd und Grubengas ein Harz; Stickstoff und Wasserdampf salpetrigsaures Ammoniak u. s. w. Dextrin, Benzol, Natrium u. s. w. absorbiren unter Einfluss des Effluviums Stickstoff, mit welchem sie sich chemisch verbinden. Wasserstoff bildet mit Benzol und Terpentinöl harzige Verbindungen[3]) u. s. w.

---

1) Plücker, Pogg. Ann. **105**, 84, 1858.

2) Morren, Ann. chim. phys. (4) **4**, 325, 1867.

3) Ueber diese chemischen Wirkungen des Effluviums siehe Schönbein, Ann. chim. phys. (3) **67**, 371; ferner G. Wiedemann, Elektrizität **4**, 2, S. 822 u. ff. Hautefeuille u. Chappuis, C. R. **91**; 281, 762, 815, 1880; **92**. 134. 1881; **94**, 646, 1882; **98**, 626, 1884. Dehérain und Maquenne, (1881) C. R. **93**, 895, 1021, 1881. Berthelot, Ann. chim. phys. (5) **10**. 51 u. **12**, 445, 467, 1877 u. C. R. **86**, 74, 277, 1878. Bichat u. Guntz, C.R. **107**. 334, 1888 u. Ann. chim. phys. (6) **19**, 131, 1890. A. de Hemptinne, Zeitschr. f. phys. Chem. **23**. 483, 1897.

Losanitsch und Jovitschitsch[1]) fanden im Gegensatz zu Berthelot, dass das Effluvium auch die Bildung von Wasser veranlassen kann, wenn man Sauerstoff in einen mit Wasserstoff gefüllten Ozonisator einleitet.

Feuchtes Kohlenoxyd gab Ameisensäure; Kohlenoxyd und Wasserstoff bildeten Formaldehyd, der aber wieder verschwand, während sich Tröpfchen einer dicken Flüssigkeit bildeten; Kohlensäure und Wasserstoff gaben Ameisensäure; Kohlenoxyd und Methan Acetaldehyd; Kohlenoxyd und Schwefelwasserstoff Thioformaldehyd; Kohlenoxyd und Ammoniak Formamid; Schwefelkohlenstoff und Wasserstoff gaben das feste Monosulfid des Kohlenstoffs und Schwefelwasserstoffs.

Merkwürdig ist, dass schon Spuren von Chlor ausreichend sind, um die Bildung von Ozon durch das elektrische Effluvium zu verhindern, während dagegen Stickstoff, Wasserstoff und Fluorsilicium günstig einwirken.

Eine eigenthümliche Erscheinung, bei welcher vielleicht ebenfalls Ozonbildung mitspielt, wurde von Lord Rayleigh beobachtet und später durch Frank Newal (1885) näher untersucht. Leitet man zwei horizontale Wasserstrahlen unter sehr spitzem Winkel zusammen, so tritt nicht, wie man erwarten sollte, Vereinigung ein, sondern sie bleiben durch eine dünne Luftschicht getrennt, deren Dicke sich nach den auftretenden Newton'schen Ringen beurtheilen lässt. Die Strahlen fliessen indess sofort zusammen, wenn sie mit den Polen einer hinreichend kräftigen galvanischen Batterie verbunden werden. Mit zunehmender elektromotorischer Kraft zeigt sich nicht etwa, wie man erwarten könnte, eine allmähliche Annäherung der Strahlen, da die Newton'schen Ringe hierbei völlig ungeändert bleiben, sondern erst wenn ein bestimmter Werth der elektromotorischen Kraft erreicht ist, tritt plötzliches Zusammenfliessen ein, vielleicht dadurch, dass sich in der Luftschicht Ozon oder salpetrige Säure bildet und diese vom Wasser absorbirt wird.

Nach Sarasin[2]) beruht auch das Nachleuchten Geissler'scher Röhren auf einer Zersetzung des Gases und Umwandlung von Sauerstoff in Ozon. Beim Aufhören des Stromdurchganges wird die Zersetzung rückgängig.[3]) Die Er-

---

1) Losanitsch u. Jovitschitsch, Ber. d. d. chem. Ges. **30**, 135, 1897.

2) Sarasin, Pogg. Ann. **140**, 434, 1870.

3) Dabei entwickelt sich phosphoreszirendes Licht, wie z. B. bei langsam verbrennendem Phosphor, Schwefel, Paraffin, Kalium und Natrium.

Radziszewski (1877) fand, dass Hydrobenzamid, Amarin und Lophin, sowie das Rohprodukt der Einwirkung von alkoholischem Ammoniak auf Benzil leuchten, wenn man sie mit alkoholischer Kalilauge unter gleichzeitigem Sauerstoffzutritt in Berührung bringt. Das stärkste Leuchtvermögen zeigte das Lophin. Auch Paraldehyd, Metaldehyd, Aldehydammoniak, Furfurin, Hydroanisamid, Anisidin, Hydrocinnamid, Hydrocuminamid, Formaldehyd und Traubenzucker leuchteten unter denselben Bedingungen. Phipson (1877) hatte schon früher ein Leuchten durch langsame Oxydation von Noctilucin (aus Leuchtkäfern und Skolopendern zu gewinnen) beobachtet. Perkin (1882) sah (ähnlich wie schon Davy, Döbereiner und Boutigny) blasse Flammen über erhitztem Aether (bei 200°) im Dunkeln, in welchen Papier nicht entzündet werden konnte. Aehnliches zeigten Wall-

scheinung wurde nach Morren[1]) von Geissler entdeckt. Sehr schön zeigt sich die Phosphoreszenz in einem Gemenge von 37 Stickstoff und 100 Sauerstoff bei Anwesenheit von Vitriolöl. Reiner Stickstoff oder Sauerstoff zeigen dieselbe nicht.

Wild (1860) beobachtete das Nachleuchten in einem etwas Schwefelkohlenstoff enthaltenden elektrischen Ei und glaubte es deshalb auf langsame Oxydation des Schwefels zurückführen zu können.

Das Leuchten erscheint sofort, wenn die Verbindung $N_2O_3SO_3$ möglichst wasserfrei in die Röhren eingeführt wird, ebenso beim Einbringen des in Phosphoreszenzröhren in der Nähe der Kathode sich bildenden gelben pulvrigen Niederschlages.

Séguy[2]) beobachtete Nachleuchten bei Stickstoff mit Metallbichlorid.

Nach Morren zeigt sich das weisse Phosphoreszenzlicht in den 40 Theile Luft, 60 Theile Sauerstoff und eine Spur Schwefelsäureanhydrid enthaltenden nachleuchtenden Geissler'schen Röhren nicht in der die Kathode enthaltenden Kugel, wohl aber sehr stark in der Nähe der Anode. Vielleicht lässt sich dies auf Temperaturverschiedenheiten zurückführen. Nach Riess (1860) verschwindet das Licht in beiden Endkugeln eher als in der Mitte.

Den sicheren Nachweis, dass das Nachleuchten in den besonders auffällig leuchtenden Röhren auf chemischen Wirkungen beruht, hat neuerdings Warburg (1884) dadurch erbracht, dass er während des Leuchtens an einem Ende Luft eintreten liess. Die leuchtende Materie wurde gegen das andere Ende zurückgeschoben, d. h. verdichtet, ohne aber die Leuchtkraft zu verlieren.

25. Zerstäubung.

In nahem Zusammenhang mit den chemischen Wirkungen der Entladung steht wahrscheinlich die Zerstäubung des Elektrodenmetalls, welche man hauptsächlich an der Kathode beobachtet.

Plücker[3]) schreibt darüber: Von der negativen Platin-Elektrode reissen sich in der Regel Platinpartikel los, die sich an die innere Wandung der die Elektrode umgebenden Glaskugel absetzen. (Ich habe nie eine Tendenz dieser

rath, Olivenöl, Leinöl, weisses Wachs, Paraffin, Stearin, Oleïn und Aldehyd. H. C. Lewis (1885) fand einen krystallinischen Kalkstein, der beim Stossen und Erhitzen stark roth phosphoreszirte, beim Reiben und nach längerem Erhitzen weiss. Die Eigenschaft ging nach einigen Wiederholungen des Versuches verloren, war also vermuthlich durch eine oxydirbare Substanz bedingt. Auch die leuchtende Krystallisation z. B. beim Ausfällen von Chlornatrium ist vielleicht hier zu erwähnen.

1) Morren, Pogg. Ann. **126**, 643, 1865.

2) Séguy, C. R. **121**, 198, 1895.

3) Plücker, Pogg. Ann. **104**, 116, 1858.

Theilchen sich nach der entgegengesetzten Elektrode hin zu bewegen bemerkt.) Eine Folge davon ist, dass diese Kugel sich allmählich schwärzt und nach längerer Wirkung, wenn sie nicht zu gross ist, von innen mit einem schönen Metallspiegel bekleidet wird. Durch die chemische Analyse können wir das Platin des Beleges nachweisen.[1])

Herwig[2]) stellte fest, dass die Zerstäubung, nicht wie Grove meinte, der im Voltameter abgeschiedenen Wasserstoffmenge äquivalent ist.

Riess (1856) vermuthet, dass die Entladung bereits unter der Oberfläche der Elektroden disruptiv wird. Man könnte dies vielleicht mit der Annahme in Zusammenhang bringen, dass die Entladung im Gase rascher stattfindet als im Metall und dass sie nicht an der ganzen Oberfläche der Elektroden stattfindet, sondern zunächst von einem Punkte ausgeht. Durch Zusammenfliessen der Strömungslinien der Elektrizität nach diesem Punkt würde, ähnlich wie wenn sich zwei Stromleiter nur an einem Punkte berühren, z. B. bei einer Kontaktglühlichtlampe, eine lokale Erhöhung der Stromdichtigkeit bedingt, ein sehr beträchtliches Potentialgefälle und damit disruptive Entladung, wie beim Zerstäuben eines Blattgoldstreifchens durch die Entladung einer grossen Leydener Batterie.

Hittorf (1883) benutzte eine von kaltem Wasser durchströmte Kupferkapillare als Kathode, welche sich beim Durchgang des Stromes nicht merklich erhitzte. Nichtsdestoweniger entstand an den Glaswänden ein schöner Kupferbeschlag.

Crookes[3]) bestimmte genauer die Mengen des verdunsteten Metalls und fand unter bestimmten Umständen die in derselben Zeit zerstäubten Mengen für:

Pd	Au	Ag	Pb	Sn	Pt	Cu	Cd	Ni	Ir	Fe	Al	Mg
108	100	83	75	57	45	40	32	11	10	6	0	0.

Nach Hittorf[4]) sind die Metallspiegel keineswegs, wie vielfach, namentlich von Crookes angenommen wird, durch eine Abstossung bedingt. Denn die meisten Metalle verdampfen unter dem geringen Drucke der Gase noch ehe sie Glühtemperatur angenommen haben. Das Aluminium, welches gewöhnlich keine Absätze giebt, verdankt dieses Verhalten allein seiner Schwerflüchtigkeit. Man kann leicht die Temperatur soweit steigern, dass auch dieses Metall einen Spiegel auf der Glaswand absetzt.

Scheinbar stehen mit dieser Ansicht Hittorf's Beobachtungen von Lodge[5]), Nahrwold[6]) und R. v. Helmholtz[7]) in Uebereinstimmung, welchen zufolge

1) Vgl. auch Gassiot, Fortschr. d. Phys. **17**, 505, 1862.
2) Herwig, Pogg. Ann. **149**, 521, 1873.
3) Crookes, Elektrician **27**, 197, 1891.
4) Hittorf, Wied. Ann. **21**, 126, 1884.
5) Lodge, Nat. **31**, 268, 1885.
6) Nahrwold, Wied. Ann. **31**, 467, 1887.
7) R. v. Helmholtz, Wied. Ann. **32**, 5, 1887.

schon einfaches Glühen die Zerstäubung hervorbringt. Nach R. v. Helmholtz vermag in staubfreier feuchter Luft, welche durch adiabatische Expansion nicht zur Nebelbildung gebracht werden konnte, ein (unelektrischer) Draht selbst bei ganz kurzem Glühen so viele Nebelkerne zu erzeugen, dass dichter Nebel hervorgerufen wird.

Nach A. Berliner[1]) ist dagegen nothwendige Bedingung für das Zerstäuben glühender Metalle das Entweichen okkludirten Gases. Derselbe vermuthet deshalb, die Zerstäubung sei eine mechanische, indem die ausbrechenden Gase kleine Metallpartikelchen mit sich führen.

Nachdem das Platin von okkludirten Gasen durch längeres Glühen im Vakuum befreit war und das Vakuum selbst möglichst hoch getrieben war, zeigte sich keine Zerstäubung mehr, selbst wenn das Platin längere Zeit bis nahe zum Durchschmelzen erhitzt wurde. Liess man wieder etwas Luft eintreten und diese durch das Platin absorbiren, so trat die Zerstäubung alsbald wieder auf.

Auch diese Ansicht dürfte aber nicht zutreffend sein. Nach Troost und Hautefeuille lässt sich in Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff und im Vakuum Platin längere Zeit auf 1400° erhitzen ohne merklich zu zerstäuben, dagegen nicht in Chlor.

Wird einem indifferenten Gase, welches in einem glühenden Rohr über Platin strömt, auch nur eine Spur Chlor beigemischt, so entsteht alsbald an den kälteren Theilen der Gefässwand ein krystallinischer Beschlag von Platin.

Diese Beobachtungen erinnern an andere von Seelheim (1879), welchen zufolge beim starken Erhitzen von Platinchlorid in einem Porzellanballon beim Abkühlen ein krystallinischer Absatz von Platin entsteht. Wurde dagegen der entstandene Dampf auf einer durch strömendes Wasser kaltgehaltenen Röhre niedergeschlagen, so verdichtete er sich zu zweifach Chlorplatin.

Edison fand, dass ein Platindraht, welcher im Vakuum glühend sich sehr lange hält, in einer Wasserstoffflamme rasch an Gewicht verliert und die Flamme grünlich färbt. Auch hier dürfte es sich also um eine chemische Einwirkung der Flammengase handeln.

Van der Willigen[2]) beobachtete die Entstehung von Ozon an einem galvanisch erhitzten Platindraht.

Wird nach Troost und Hautefeuille Sauerstoff durch ein auf 1400° erhitztes Platinrohr geleitet und rasch abgekühlt, so enthält derselbe Ozon.

R. v. Helmholtz[3]) beobachtete die Bläuung von Wurster'schem Papier in der Nähe eines glühenden Platindrahtes.

Dieses Auftreten von Ozon, welches sich mit der Ozonbildung durch Oxydation von Phosphor, Terpentinöl u. s. w. vergleichen lässt, scheint auch auf einen chemischen Vorgang an der Platinoberfläche hinzuweisen.

---

1) Berliner, Wied. Ann. **33**, 294, 1888.
2) Van der Willigen, Pogg. Ann. **98**, 511, 1856.
3) R. v. Helmholtz, Wied. Ann. **32**, 18, 1887.

Elster und Geitel[1]) machen auf eine Vorrichtung von Dewar zum Ozonisiren von Sauerstoff durch glühende Platinflächen aufmerksam, sowie auf die bekannte Erscheinung, dass die Luft in der Umgebung eines glühenden Platindrahts oder einer Bunsenflamme ozonhaltig ist.

Sie beobachteten auch[2]) die Bildung des sehr schwer herzustellenden Platinoxyds an den Glaswänden eines Rezipienten in der Nähe eines glühenden Drahtes in Sauerstoff.

Dieselbe chemische Wirkung zeigt sich nach Dessau bei den nach dem Verfahren von Wright[3]) durch Kathodenzerstäubung hergestellten Metallspiegeln. Nur bei völliger Abwesenheit von Sauerstoff bestehen die Spiegel aus reinem Metall, sonst aus Oxyd und zwar auch bei solchen Metallen, die nur äusserst schwierig sich mit Sauerstoff verbinden, so dass man annehmen muss, dass in Folge der äusserst feinen Vertheilung durch die Zerstäubung und zwar während derselben (nicht nach der Ablagerung) die Metalle sich in einem sehr aktiven Zustand befinden.[4])

Berliner[5]) bemerkt: „Wahrscheinlich entsteht der schwarze Absatz, der sich in den Glühlampen bei längerem Gebrauche bildet, auf dieselbe Weise. Die Kohle absorbirt bis zum 1600fachen ihres eigenen Volumens an Gasen und wenn auch ein Theil dieses Gases durch längeres Ausglühen im Vakuum vor dem Zuschmelzen des Glasballons entfernt wird, so bleibt doch noch ein beträchtlicher Theil zurück, welcher beim späteren Glühen entweicht und dabei etwas Kohle mit sich fortreisst. Die nach dem Glühen erkaltende Kohle absorbirt wieder einen Theil des frei gewordenen Gases, giebt dasselbe beim Glühen wieder ab und zerstäubt dadurch von neuem. So geht das Spiel fort und es entsteht allmählich ein sichtbarer Beschlag."

Fleming[6]) beobachtete in dem Beschlag einer Glühlampe den Schatten des Kohlefadens. Derselbe erscheint, wenn z. B. eine für 50 Volt berechnete Lampe plötzlich einer Spannung von 100 Volt ausgesetzt wird. Der Schatten erscheint dann an der von der Bruchstelle des Kohlefadens entferntesten Stelle der Glaswand, indem offenbar der dort plötzlich gebildete Kohledampf mit äusserster Vehemenz in das Vakuum sich expandirt, unterwegs verdichtet und dann in Form feiner Kohlepartikelchen der Trägheit gemäss in geraden Linien gegen die Glaswand hin sich fortbewegt. Bei langsamer Bildung eines Kohlebeschlages zeigte sich ein solcher Schatten nicht.

1) Elster und Geitel, Wied. Ann. **39**, 321, 1890.

2) Elster und Geitel, Wied. Ann. **37**, 324, 1889.

3) Wright, Sill. Journ. **13**, 49 und **14**, 169, 1877.

4) Vgl. auch Kundt, Wied. Ann. **27**, 59, 1886, ferner J. Mooser, Wied. Ann. **42**, 639, 1891 und Dessau, Wied. Ann. **29**, 353, 1886.

5) Berliner, Wied. Ann. **33**, 291, 1888.

6) Fleming, Phil. Mag. (5) **20**, 141, 1885.

Bereits Plücker[1]) wies darauf hin, dass das zerstäubte Platin elektrisch ist, was wieder auf einen chemischen Prozess, der die Entstehung von Ionen bedingt, hindeutet. Er äussert sich:

„Es bedürfte wohl kaum noch eines besonderen Versuches, um festzustellen, dass, wenn eine frische Röhre in äquatorialer Lage so zwischen die beiden einander genäherten Halbanker gebracht wird, dass die Kugel mit derjenigen Elektrode, die zur negativen bestimmt ist, von aussen her an dieselbe anstösst ... und dann erst der elektrische Strom durch die Röhre hindurchgeleitet wird, und das magnetische Licht in einer sichelförmigen Scheibe zusammengezogen erscheint — die Kugel nur an derjenigen Stelle geschwärzt wird, wo die Lichtscheibe ihre innere Wandung berührt.“

Nach Lenard und Wolf zerstäubt negativ geladenes Platin viel leichter als positiv geladenes.

Preece[2]) bemerkt, dass eine Sonde aus einer Glühlampe, sobald der Kohlenfaden einen bestimmten Glühgrad erreicht hat, einen Strom abzweigt. Von dem Kohlenbogen werden bei starkem Glühen Theilchen in gerader Richtung fortgeschleudert, welche die Leitung vermitteln.

Sehr interessante Resultate hat ferner Kundt (1886) mit solchen Niederschlägen erzielt. Dieselben wurden dadurch erzeugt, dass ein dünner Draht als Kathode benutzt und demselben die betreffende Glasplatte in einiger Entfernung gegenübergestellt wurde. „Das Metall setzt sich bei dieser Anordnung direkt unter der Kathode in grösster Dicke ab; von diesem Punkte nimmt die Dicke in allen Radien kontinuirlich ab. Man erhält, ähnlich wie bei der Herstellung der Nobili'schen Ringe, eine konische Metallschicht. Die Spitze des Konus liegt genau im Fusspunkt der Kathode ...

Die auf die angegebene Weise niedergeschlagenen Metallspiegel erweisen sich unter dem Mikroskop im durchfallenden Licht als völlig kohärent und homogen; sie zeigen meist, auch wenn sie anscheinend ganz oxydfrei sind, Newton'sche Ringe, die besonders deutlich und schön sichtbar sind, wenn die Platten bei ziemlich schiefer Incidenz des Lichtes mit einem Nicol'schen Prisma betrachtet werden ...

Betrachtet man nun einen solchen konischen Spiegel zwischen gekreuzten Nicol'schen Prismen bei Benutzung von parallelem Sonnenlicht entweder mit blossem Auge oder besser mit einem schwach vergrössernden Fernrohr, so zeigt sich ein helles Feld, durchzogen von einem schwarzen Kreuz. Der Mittelpunkt des Kreuzes liegt an der Spitze der konischen Metallschicht, also in dem Punkt, über welchem sich die Kathode befand; die Arme des Kreuzes fallen zusammen mit den Schwingungsrichtungen im polarisirenden und im analysirenden Nicol.“

Durch ungleiches Erwärmen oder durch mechanischen Zug konnte in diesen Metallschichten keine Doppelbrechung hervorgebracht werden, und da sie

1) Plücker, Pogg. Ann. **104**, 116, 1858.
2) Preece, Proc. Roy. Soc. **38**, 219, 1885.

sich auch bei solchen Metallen zeigte, die nur regulär krystallisiren, so dass man nicht annehmen kann,[1]) dass sie etwa durch radiale Anordnung doppeltbrechender Kryställchen bedingt sei, so bleibt ihr Ursprung vorläufig völlig räthselhaft. Dieselbe muss sehr beträchtlich sein, denn den Messungen zufolge zeigte sich die Erscheinung noch bei Spiegeln, deren Dicke in der Mitte weniger als 0,00001 mm betrug, woraus, wenn man den Gangunterschied auch nur = $^1/_{100}$ Wellenlänge annimmt, eine Differenz der beiden Brechungsexponenten (für Na-Licht) = 0,5 folgt.

An elektrolytisch hergestellten konischen Schichten konnten ähnliche Erscheinungen nicht beobachtet werden. Kundt bemerkt noch weiter:

„Die durch Zerstäuben der Kathode hergestellten Silberschichten sind im durchfallenden Lichte entweder blau mit einem schwachen Stich ins Violette oder röthlich-violett, in dickeren Schichten bläulich-violett .... Die durchsichtigen Spiegel zeigten nun, als ich sie mit der dichroskopischen Lupe untersuchte, einen sehr starken Dichroismus. An den dünnen Rändern ist das Bild der Lupe, dessen Polarisationsebene mit dem Radius der konischen Metallschicht zusammenfällt, ganz hellblau, das andere roth mit schwachem Stich ins Violette. An den dickeren, dem Centrum näheren Stellen geht dies Roth allmählich in ein dunkles Blauviolett über; das andere Bild bleibt stets erheblich heller."

Als wahrscheinliche Ursache derselben betrachtet Kundt die orientirende Wirkung der elektrischen Kraft. „Da die Entladungen in dem Apparate diskontinuirlich sind, so ist jedenfalls anzunehmen, dass jedes fortgeschleuderte Molekül mit Elektrizität geladen ist. Ist die Anordnung der Elektrizität auf dem Molekül in Folge der Gestalt desselben oder aus irgend einem andern Grunde nicht eine allseitig gleiche, so wird durch die Elektrizität der Kathode jedes Molekül während seiner Bewegung gerichtet werden und alle Moleküle werden auf der Glasplatte in einer bestimmten Weise orientirt sich absetzen. Die Orientirung wird von der Form der Elektrode und der Lage der Platte zu derselben abhängen müssen. Ist die Kathode ein einfacher Draht und befindet sich vertikal unter derselben die Glasplatte, so muss die Orientirung vom Mittelpunkt der Kathode auf allen Radien die gleiche sein, so dass die beschriebene Art der Doppelbrechung auftritt."

Dessau[2]) berichtet:

„Die erhaltene Schicht ist konisch und gewöhnlich in der Mitte am dicksten; zuweilen aber zeigt sich gerade in der Mitte, im Fusspunkt der Elektrode, ein kleiner runder Fleck, welcher fast frei von Metall ist und beinahe das nackte Glas darbietet ....

Eine noch sonderbarere Erscheinung ergab sich in einem Falle, als, um eine mehr gleichmässig dicke Schicht statt der kegelförmigen zu erhalten, die Gestalt der Elektrode abgeändert wurde; der Platindraht wurde zunächst wie

1) Falls nicht etwa eine doppeltbrechende Modifikation existirt.

2) Dessau, Wied. Ann. **29**, 375. 1886.

gewöhnlich abwärts geführt, dann aber in horizontaler Ebene zu einem Kreise gebogen. Der Effekt war vollständig entgegengesetzt dem beabsichtigten: in der Mitte unter der Elektrode befand sich ein scharf begrenzter Fleck, auf welchem fast nichts niedergeschlagen war . . . ringsum war die Dicke der Platinschicht fast bis zur Undurchsichtigkeit gewachsen."

Dass die Elektroden beim Durchgang des Stromes absorbirte Gase freilassen oder aufnehmen, zeigen verschiedene Beobachtungen.

Plücker[1]) schreibt:

„Gewisse Gase (Sauerstoff, Chlor, Brom- und Joddampf) verbinden sich mehr oder weniger langsam mit dem Platin der negativen Elektrode und die resultirenden Verbindungen lagern sich auf die umgebende Glaswandung ab. Wir nähern uns dabei, wenn die Gase rein sind, einem absoluten Vakuum."

Auch weniger vollkommene Röhren werden allmählich absolute Vakuumröhren, indem der Sauerstoff absorbirt wird.

Hittorf (1879) bemerkt:

„Ich habe schon viel Zeit und Mühe darauf verwendet . . . . gasfreie Elektroden herzustellen. Auf dem Wege Graham's, welcher die Metalle längere Zeit bei mässiger Glühhitze im Vakuum erhielt, ist mir dies bis jetzt wie auch andern Physikern nicht vollständig gelungen. Für unsere Zwecke ist eigentlich ein metallischer Leiter, welcher absolut unfähig ist Gase zu okkludiren, nöthig. Metalle, welche ganz von Gasen befreit sind, genügen, so lange sie jene Fähigkeit besitzen, dem hier bestehenden Bedürfnisse nicht vollständig, indem sie je nach der Temperatur, welche sie als Kathoden durch den Strom erhalten, bald Gas der Röhre entziehen, bald wieder an dieselbe abgeben und so die Masse des Gases, die konstant bleiben soll, verändern."

Goldstein (1876) äussert sich:

„Das Glühen der Kathode stellte ebenso die Entladung durch den entleerten Raum wieder her in den Fällen, in denen der Widerstand solcher möglichst evakuirten Röhren so gross war, dass auch bei beliebig grosser Poldistanz des Funkenmikrometers keine Entladung durch die Röhre mehr erfolgte.

Nach dem Erkalten zeigte die Röhre den gleichen Widerstand wie zuvor, es waren also nicht etwa Gase frei geworden.

Die bisher räthselhaften Beobachtungen von Reitlinger und Kuhn (1870) über Spektra negativer Elektroden und lange gebrauchter Geissler'schen Röhren finden mit allem Detail ihre vollkommene Erklärung darin, dass die genannten Forscher mit einer Röhre experimentirten, deren Gasinhalt während des Stromdurchgangs von den Elektroden absorbirt wurde, wodurch die Erscheinungen äusserster Verdünnung hervorgerufen wurden.

Solche Röhren, welche freiwillig ihren Gasinhalt absorbiren, habe ich mehrfach aufgefunden und besitze noch jetzt einige hermetisch verschlossene

1) Plücker, Pogg. Ann. **105**, 84, 1858.

Exemplare, an denen ich nach Belieben die Erscheinungen höchster Verdünnung oder höherer Dichte studiren kann.

Indem ich die Elektroden von aussen erhitze, wird die Gasdichte im Innern gesteigert; der Durchgang des Stromes aber stellt in Kurzem wieder eine extreme Verdünnung her.“

Vielleicht beruht auf ähnlichen Wirkungen auch ein von mir[1]) in einem neuen kugelförmigen Gefäss beobachteter rascher Wechsel der Lichterscheinungen. Die Fig. 133 zeigt vier kurz nacheinander in diesem Gefässe erhaltene Formen der Glimmentladung. Nach wenigen Minuten war überhaupt keine Glimmentladung mehr zu erhalten, sondern nur noch Streifenentladung. (Die Verdünnung betrug etwa $1/_2$ mm.)

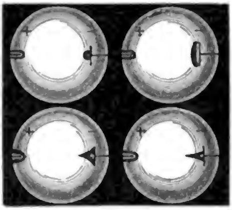


Fig. 133.

Hat man nach Puluj[2]) eine Röhre mit Platinelektroden soweit ausgepumpt, dass bei schwächerem Strome eine schöne Phosphoreszenz der Glaswandungen zu sehen ist, so entwickelt sich beim Durchleiten eines stärkeren Stromes fast augenblicklich soviel Gas, dass die Phosphoreszenz ganz verschwindet und die Röhre mit weisslichem Lichte sich füllt. Nur durch stundenlanges Durchleiten starker Ströme und fortwährendes Auspumpen können die okkludirten Gase entfernt werden.[3])

Heim (1886) bemerkt über die Absorption von Gasen durch die Kohle der Glühlampen:

„Der Kohlenbügel einer Glühlampe enthält im Allgemeinen eine sehr beträchtliche Gasmenge absorbirt, deren Volumen auf Atmosphärendruck reduzirt das der Kohle bis zu mehreren hundert Mal übersteigen kann. Diese Gasmenge bleibt auch beim Brennen der Lampe zum grössten Theil in der Kohle.

Kommunizirt die Lampe dagegen mit einem grösseren, zuvor evakuirten Raume, so tritt während des Brennens allmählich eine beträchtliche Gasmenge aus, so dass der Druck bis zu $1/_2$ mm und noch weiter wachsen kann. Die Geschwindigkeit der Druckzunahme sinkt mit der Zeit. Entfernt man häufig Portionen des ausgetriebenen Gases, so gelingt es, wenn der Versuch lange genug fortgesetzt wird, die Kohle von der gesammten absorbirten Gasmenge zu befreien.“

Nach Goldammer[4]) findet gemäss den Beobachtungen Goldsteins beim Durchgang der Entladungen beständige Absorption des Gases statt und zwar

1) O. L., Wied. Ann. **22**, 321, 1884.
2) Puluj, Strahlende Elektrodenmaterie, Wien 1883, S. 13.
3) Vgl. auch Spottiswood und Moulton, Chem. News **45**, 143, 1882.
4) Goldammer, Beibl. **9**, 463, 1885.

betrug in dem betreffenden Falle die in 10 Minuten verschwundene Menge $1{,}35 \cdot 10^{-6}$ Gramm.[1])

Aluminiumkathoden vermögen nach Warburg[2]) etwas Quecksilberdampf aufzunehmen, indem sie damit Amalgam bilden. Reines Natrium nimmt Wasserstoff auf und zwar bei gewöhnlicher Temperatur mehr als bei höherer.

Nach Segalin[3]) beruht die Erschöpfung Crookes'scher Röhren hauptsächlich auf Absorption des Gasinhalts durch die Elektroden, denn durch vorübergehende Umkehrung der Entladungsrichtung oder Erwärmung der Elektroden mittels einer Brennlinse kann sie beseitigt werden. [Es könnte indess auch ein Theil des Gases in Folge starker Elektrisirung an den Gefässwänden sich verdichten.]

Neuere Röntgenröhren werden (nach Zehnder) mit einem (etwas Kohle enthaltenden) Ansatz zum Erhitzen versehen, um den richtigen Gasdruck wiederherzustellen, falls in Folge des Stromdurchgangs das Vakuum zu hoch geworden ist.

26. Elektrisirung durch glühende Körper.

Falls nun bei der Zerstäubung, wie angenommen, chemische Prozesse im Spiele sind, welche die Entstehung freier Ionen bedingen, so lässt sich auch erwarten, dass glühende Körper und die in der Nähe befindliche Luft Anzeichen von Elektrisirung beobachten lassen werden. Dass dies thatsächlich der Fall ist, beobachteten zuerst Elster und Geitel[4]), welche fanden, dass ein Platindraht in der Nähe eines andern glühenden Platindrahts positiv elektrisch wird. Später gelangten sie zu folgenden Resultaten:

1. „Die Erscheinung, dass isolirte Leiter in der Nähe eines glühenden Körpers sich elektrisch laden, tritt auch in Gasen auf, die mittelst Filtration durch Glycerinwatte nach Möglichkeit staubfrei gemacht sind.

2. Sie bleibt bestehen bei Verminderung des Druckes bis zu der in Crookes'schen Vakuumröhren bestehenden äussersten Verdünnung der Gase.

3. Die Elektrisirung ist positiv für Rothgluth und alle darüber liegenden Temperaturen in den bis jetzt untersuchten Gasen, mit Ausnahme von Wasserstoff, der sich bei höherer Temperatur entgegengesetzt verhält.

4. Für Luft und Kohlensäure liegt das Maximum der Elektrizitätsentwicklung bei heller Gelbgluth.

1) Nach Warburg (Wied. Ann. **40**, 3, 1890) beruht diese in Vakuumröhren zu beobachtende Druckabnahme grossentheils auf Oxydation des Quecksilberdampfes. Vgl. auch Warburg, Wied. Ann. **54**, 730, 1895.

2) Warburg, Wied. Ann. **31**, 577, 1887.

3) Segalin, Nuov. Cim. (4) **3**, 209, 1896.

4) Elster und Geitel, Wied. Ann. **16**, 211, 1882; **19**, 588, 1883.

5. Die einen glühenden Körper umhüllende Gasschicht zeigt ein verschiedenes Verhalten hinsichtlich der Ableitung positiver und negativer Elektrizität. Es wird immer diejenige Elektrizität am schnellsten entladen, deren Vorzeichen der durch den Glühprozess im Gase entwickelten entgegengesetzt ist (sogenanntes unipolares Leitungsvermögen)."

Nahrwold (1887), welcher sich bereits früher[1]) mit Versuchen über den Uebergang elektrischer Ladungen von einem glühenden Platindraht auf die Luft beschäftigt hatte, ist der Ansicht, „dass von einem glühenden Platindrahte feine Theilchen fortgeschleudert werden, welche sich in der umgebenden Luft zerstreuen und auf diese Weise staubfreie, für die Aufnahme von Elektrizität aus Spitzen nicht geeignete Luft wieder ladungsfähig machen, woraus denn folgt, dass auch die aus einem glühenden Platindrahte ausströmende Elektrizität nicht die Luft selbst statisch elektrisirt, sondern die als Luftelektrizität beobachteten Ladungen ihren Sitz auf den von dem glühenden Drahte fortgeschleuderten oder bereits in der Luft befindlichen, nicht gasförmigen Theilchen haben, welche etwa durch Verbrennung der auf dem Drahte oder in seiner Nähe befindlichen fremden Stoffe entstanden sein können."

Noch später (1890) berichten Elster und Geitel[2]): „Ein in einem Gase glühender Körper ladet sich von selbst bis zu einer von seiner Natur und seinem Glühzustande, sowie von der Art und Dichtigkeit des umgebenden Gases bestimmten Höhe, während durch das Gas die entgegengesetzte Elektrizität entweicht. Die Erregung wird dadurch gesteigert, dass man die Anzahl der mit der glühenden Fläche zusammentreffenden Gasmoleküle vermehrt, d. h. einen Gasstrom gegen dieselbe richtet." .....

Nach Schuster[3]) wird negative Elektrizität von einem in Luft glühenden Kupferstück so lange abgegeben, als es sich noch oxydirt. Nach vollendeter Oxydation behält dasselbe seine Ladung. Wird das oxydirte Kupferstück in Wasserstoff geglüht, so giebt es negative Elektrizität so lange ab, bis es wieder blank ist.

Auch nach Branly[4]) ist die Elektrisirung der Luft abhängig von der Natur der glühenden Oberfläche. Ein rothglühender abgeleiteter Glasstab entladet negative Elektrizität, ein dunkelrothglühender mit Aluminium-, Wismuth- oder Bleioxyd bedeckter Lampencylinder oder eine Nickel- oder Tombakröhre die positive. Selbst die physikalische Beschaffenheit der Oberfläche ist von Einfluss.[5])

Durch diese und ähnliche Versuche erscheint jedenfalls das eine sicher erwiesen, dass an einer glühenden Platin-Oberfläche die Luft Ionen aufnimmt und zwar bei Rothgluth positive, bei höherer Temperatur auch negative.

---

1) Nahrwold, Wied. Ann. **5**, 460, 1878; **35**, 107, 1888.
2) Elster und Geitel, Wied. Ann. **41**, 166, 1890.
3) Schuster, Proc. Roy. Soc. **47**, 526, 1890.
4) Branly, C. R. **114**, 1531, 1892.
5) Vicentini, Beibl. **18**, 876, 1893, F. Braun, Zeitschr. f. phys. Chem. **13**, 155, 1894 und Vicentini und Cinelli, Beibl. **19**. 521, 1895.

Hierdurch erklärt sich das schon lange bekannte sonderbare Leitungsvermögen heisser Luft, welches bei bestimmten Temperaturen unipolar zu sein scheint. Beobachtungen hierüber haben schon Du Fay 1725, Du Tour 1745, Watson 1746 und Priestley 1767 gemacht. Letzterer äussert sich in seiner Geschichte der Elektrizitätslehre: „Dass heisse Luft ein Leiter der Elektrizität sei, kann dadurch leicht erweislich gemacht werden, wenn man einen glühend gemachten eisernen Stecken, jedoch nur auf einen Augenblick, innerhalb drei oder vier Zoll von einem kleinen elektrisch gemachten Körper hält, da man alsdann wahrnimmt, dass dessen elektrische Kraft beinahe, wo nicht gänzlich, vernichtet wird.“ [1])

Cavallo [2]) schreibt: „Man hat oft bemerkt, dass man eine Batterie entladen kann, wenn man zwischen zwei in die Verbindung gebrachte und ein wenig von einander abstehende Knöpfe ein glühendes Eisen bringt: wenn man aber statt des Eisens ein Stück glühendes Glas dazwischen stellt, so kann man die Batterie nicht entladen. Hieraus lässt sich schliessen, dass entweder die erhitzte Luft kein so guter Leiter sei als man gedacht hat, oder dass die durch Eisen erhitzte Luft (vielleicht wegen der darinnen schwebenden brennbaren Theilchen aus dem Eisen) eine stärkere leitende Kraft besitze als die durch glühendes Glas erhitzte Luft.“

Ed. Becquerel (1853) und später Buff [3]) beobachteten, dass erhitzte Gase im Stande sind, selbst den Strom eines einzigen Elementes durchzulassen. Als Elektroden dienten dabei zwei parallel nebeneinander in einem langen glühenden Platinrohr ausgespannte Platindrähte. Verdünnung des Gases beförderte die Leitung.

Guthrie [4]) fand, dass eine hellglühende Kugel keine Entladung hervorbringt; vermindert sich die Temperatur, so vermag sie einen negativen Konduktor zu entladen, bei weiterem Sinken, aber nicht unter Glühhitze, auch den positiven.

Weitere Untersuchungen darüber haben Bickerton [5]) (1873), Nahrwold (1878), Blondlot [6]) und Giese [7]) ausgeführt.

Ganz Aehnliches beobachtete Hittorf (1883), als er in ein U-förmiges Glasrohr einerseits Goldblättchen, wie bei einem Elektroskop, andererseits einen Kohlenbügel einbrachte, der durch eine galvanische Batterie zum Glühen erhitzt werden konnte.

Nachdem die Luft durch die Quecksilberluftpumpe aus der Röhre möglichst entfernt war, wurden die Goldblättchen geladen und zur Divergenz ge-

---

1) Bohnenberger, Beiträge zur Elektrizitätslehre 1, Stuttgart 1793, S. 107.

2) Cavallo, Vollständige Abhandlung der Elektrizität, aus dem Englischen; Leipzig 1785, S. 238.

3) Buff, Ann. Chem. Pharm. **90**, 277, 1854.

4) Guthrie, Phil. Mag. (4) **46**, 257, 1873. Chem. News **45**, 116, 1882.

5) Bickerton, Phil. Mag. (4) **46**, 450.

6) Blondlot, C. R. **92**, 870, 1881.

7) Giese, Wied. Ann. **17**, 534, 1882.

bracht, indem man sie mit dem Pole von 100 oder 200 Elementen berührte. Als nun die Kohle im andern Schenkel weiss glühte, fielen die Blättchen sogleich zusammen, wenn die Ladung durch den positiven Pol bewirkt war. Sie behielten ihre Divergenz unverändert, wenn sie negativ elektrisirt waren."

Bei einer ähnlich eingerichteten Vakuumröhre, in welcher der Kohlenbügel als Kathode diente, ergab sich:

„Wird die Kathode mit ihrer Hülle auf Weissglühhitze versetzt, während die Anode und die übrigen Theile kalt bleiben, so vermögen wenige Bunsen'sche Elemente in den stark verdünnten Gasen stetige Ströme zu unterhalten.

Solche schwachen Ströme ohne Spur von Lichtentwicklung werden auch durch kleine elektromotorische Kräfte bei grösseren Dichten der Gase erhalten. Als die Röhre[1]) mit 6 cm Abstand der Elektroden Wasserstoffgas von nur 9 mm Spannkraft enthielt, lenkten 20 Elemente das Galvanometer 15 mm ab; als die Spannkraft auf 4,3 mm erniedrigt wurde, gaben zehn Elemente die Ablenkung 25 mm; bei 2 mm Druck vermochten noch zwei Elemente eine solche von 10 mm zu bewirken. . . .

Schliesst man die Elemente in entgegengesetzter Richtung, so findet keine Ablenkung des Galvanometers statt."

H. Preece (1885) setzte in eine Glühlampe eine Elektrode aus Platin ein und verband diese, sowie die Leitung zum Kohlenfaden mit einem Galvanometer. Sobald eine gewisse Glühintensität erreicht war, zeigte das Galvanometer einen abgeleiteten Strom an, doch nur dann, wenn die Platinelektrode so eingesetzt wurde, dass man von ihr im Vakuum eine gerade Linie bis zum Kohlenbügel ziehen konnte. Er vermuthet, dass die zerstäubten Kohletheilchen die Ursache des derivirten Stromes sind.

Goldstein[2]) sagt: „Der weissglühende Kohlefaden einer elektrischen Incandescenzlampe ist einer anderen Elektrode gegenübergestellt, eine Kathode, deren Widerstand einen minimalen Bruchtheil des bei gewöhnlicher Temperatur auftretenden bildet und klein genug ist, um durch einen möglichst evakuirten Raum nicht nur ein Induktorium, sondern sogar die geringen Spannungen schwacher galvanischer Batterien zu entladen."

Blondlot (1881) hatte beobachtet, dass selbst die nur 70° warme, von einem glühenden Körper aufsteigende heisse Luftsäule im Stande ist, den Strom eines Elementes durchzulassen. Später (1887) benutzte er einen aus zwei Platinscheiben von 3 cm Durchmesser bestehenden Kondensator, welcher mit einer Porzellanglocke überdeckt war, die von oben her geheizt wurde. Die Säulchen, welche die Kondensatorplatten trugen, ragten frei in die untere Oeffnung der Glocke hinein, standen also mit dieser nicht in Berührung. Sobald Rothgluth eintrat, vermochte selbst eine elektromotorische Kraft von $^1/_{1000}$ Volt einen

1) Als Kathode diente bei derselben ein durch einen Hülfsstrom glühend gemachter Kohlenbügel.

2) Goldstein, Wied. Ann. **24**, 81, 1885.

Strom zwischen den beiden Kondensatorscheiben zu erzeugen. Die Stromintensität war nicht genau der elektromotorischen Kraft proportional, sondern wuchs mit dieser.

Blondlot[1]) ist der Ansicht, dass die Entladung eine konvektive ist und dass der Einfluss der Temperatur bedingt sei durch Entfernung der adsorbirten Gasschichten auf den Elektroden.

Ein glühender Draht entladet nach Wesendonck[2]) eine positiv geladene Flasche bei der Annäherung vollständiger und schneller als eine negativ geladene. Nach Guthrie[3]) dagegen wird eine negativ geladene Flasche rascher entladen.

Elster und Geitel[4]) wiederholten Guthries[5]) Versuche unter Anwendung einer Platinhohlkugel, deren mit Platinschwamm gefülltes Innere durch ein Gemisch von Benzindampf und Luft zum Glühen gebracht wurde, eines sogenannten Paquelin'schen Brenners. Die Entladung durch die glühende Kugel erfolgte noch in $^1/_2$ m Entfernung, also in einer Entfernung, in welcher von einer wirklichen Leitung nicht mehr die Rede sein kann. Wurde die glühende Kugel dem Konduktor sehr nahe (2—3 cm) gebracht, so wurden beide Elektrizitäten gleich gut entladen, während sonst ein negativ elektrischer Konduktor rascher entladen wurde.

Bei Versuchen von K. R. Koch[6]) zeigte sich, „dass in der That mehr positive Elektrizität aus einem glühenden Draht (bei einem Glühzustande von dunkler Rothgluth bis Weissgluth) ausströmt, als negative; bei intensiver Weissgluth erreicht die Menge der ausströmenden negativen Elektrizität mehr die der positiven; einige Versuche scheinen darauf hinzudeuten, dass bei dem höchsten Grade des Glühens (in den Augenblicken kurz vor dem Durchschmelzen des Drahtes) ebenso viel (vielleicht sogar mehr) negative Elektrizität ausströmte als positive."

Später (1889) schreiben Elster und Geitel:[7]) „Unter normaler Leitungsfähigkeit eines Gases verstehen wir die Eigenschaft $+E$ und $-E$ in gleicher Weise zu entladen. Positiv resp. negativ unipolar heisst die Leitungsfähigkeit, wenn $+E$ resp. $-E$ vorwiegend leicht entladen wird.

Die Leitungsfähigkeit der Gase nimmt zu und nähert sich zugleich mehr und mehr der normalen, je höher die Temperatur des glühendes Drahtes (resp. Kohlenfadens) steigt. Je näher die Elektrode dem glühenden Drahte (resp. Kohlenfaden) ist, um so leichter erfolgt die Ableitung. Bei äusserster Nähe und Temperatur kann das Leitungsvermögen völlig normal erscheinen.

---

1) Blondlot, C. R. **104**, 283, 1887.
2) Wesendonck, Wied. Ann. **30**, 29, 1887.
3) Guthrie, Phil. Mag. (4) **46**, 257, 1873.
4) Elster und Geitel, Wied. Ann. **26**, 1, 1885.
5) Guthrie, Chem. News **45**, **116**, 1882.
6) K. R. Koch, Wied. Ann. **33**, 454, 1888.
7) Elster und Geitel, Wied. Ann. **37**, 15, 315, 1889.

Im Sauerstoff ist das Leitungsvermögen ein negativ unipolares, bei nicht zu hohem Glühzustand wird positive Elektrizität durch das erhitzte Gas überhaupt nicht mehr entladen (bis ca. 400 Volt). Im Wasserstoff oder den Zersetzungsprodukten von Fettdämpfen oder bei Verwendung von Kohlenfäden überhaupt ist das Leitungsvermögen positiv unipolar.

Vicentini[1]) fand, dass zwischen 200° und 600° ein erhitzter Platindraht die umgebende Luft nur sehr schwach elektrisirt. Ueber 600° nimmt die Wirkung zu und erreicht ein Maximum bei 1000°, um dann langsam abzunehmen und zu verschwinden.

Ist der glühende Draht auf + 4 Volt elektrisirt, so findet ebenfalls unterhalb 600° nur schwache Wirkung statt, über 650° dagegen strömt die Elektrizität rasch aus, so dass ein in der Nähe befindlicher isolirter kalter Draht (bei 750°) dasselbe Potential annimmt wie der glühende. Bei negativer Elektrisirung ist es nöthig bis auf etwa 1050° zu erhitzen, um dasselbe Resultat zu erhalten. Luft, welche über 1050° erhitzt ist, leitet positive und negative Elektrizität gleich gut.

Pringsheim[2]) benutzte als Elektroden kreisförmige Platinbleche von 1 cm Durchmesser und 1 mm Dicke in 3 mm Abstand, vertikal einander gegenüber, getragen von langen Platindrähten. Als Stromquelle dienten 1 bis 10 Trockenelemente. Die Resultate waren in Uebereinstimmung mit denen von E. Becquerel.[3])

Luft, CO_2 und H fangen bei beginnender Rothgluth an zu leiten. Die Leitungsfähigkeit nimmt mit steigender Temperatur und mit abnehmendem Druck zu. Sie ist am grössten für H, am kleinsten für CO_2. Sie ist deutlich von der Stromrichtung abhängig.

Die Stromstärke folgt nicht dem Ohm'schen Gesetz, sondern der Formel

$$i = \frac{e + a \cdot e^2}{w}.$$

a hängt von der Natur der Elektroden und der Stromrichtung ab. w ist nahezu dem Druck proportional.

Mit zunehmendem Abstand der Elektroden wird die Stromstärke rasch kleiner.

Es zeigt sich eine Art Polarisation, insofern beim Anschliessen der Stromquelle zunächst eine relativ hohe Stromstärke eintritt, welche dann bald abnimmt. Schliesst man die Elektroden nach Abschaltung der Stromquelle durch ein Galvanometer, so erhält man einen Polarisationsstrom. Der Polarisationszustand kann lange anhalten. Lässt man abkühlen, so kommt der Polarisationsstrom nicht zu stande, tritt aber wieder hervor, sobald man erwärmt.

Bei Goldelektroden ist die Polarisation erheblich geringer als bei Platin.

---

1) Vicentini, Il nuovo Cimento (3) **34**, 226, 1893.
2) Pringsheim, Wied. Ann. **55**, 507, 1895.
3) E. Becquerel, Ann. chim. phys. (3) **39**, 355, 1853.

Nach Oberbeck[1]) setzt Temperaturerhöhung das Entladungspotential an einem feinen Drahte herunter und zwar stärker bei negativer Elektrisirung. Bei etwa 500° wurde ein genäherter negativ geladener Konduktor vollständig entladen und bei 700° auch ein positiv geladener. Die Erscheinungen erklären sich dadurch, dass bei 500° die Luft positiv elektrische Ionen aufnimmt und bei 700° und darüber positive und negative gemäss den Resultaten von Elster und Geitel.

Pettinelli und Marolli[2]) untersuchten die Leitfähigkeit von in einem Porzellanrohr stark erhitzter Luft. Dieselbe ergab sich unipolar und war nur durch die Kathode bedingt. Mit einer negativen Elektrode aus Kohle war die Leitfähigkeit eines Gases bei 800° C. drei bis viermal grösser als bei Anwendung einer Elektrode aus Eisen. Temperaturen von 600° lieferten eben noch messbare Ströme, bei 800° waren sie etwa zehnmal stärker, dann nahmen sie langsamer als die Temperatur zu.

Es sind jedenfalls wohl keine sichtbaren Staubtheilchen, welche die Ladung der Luft vermitteln; denn nach der Entdeckung von Tyndall[3]) ist jeder erhitzte Körper mit einem staubfreien Raume umgeben, dessen Grösse mit der Temperatur wächst. Auch dieser Raum verhält sich den beiden Elektrizitäten gegenüber verschieden, bei positiver Ladung des erhitzten Körpers wird die staubfreie Schicht dicker, bei negativer dagegen dünner, wie dies auch die Versuche der Herren Lodge und Clark[4]) zeigen.

Righi[5]) vermochte die Stellen, an welchen die Elektrizität von einer Ebonitplatte aufgenommen wurde, durch Staubfiguren sichtbar zu machen.[6])

Branly[7]) beobachtete die Entladung einer Metallscheibe durch einen galvanisch erhitzten Draht. Die Wirkung war stärker, wenn der Draht negativ war. Sie wurde durch starke kalte Luftströme nicht gestört.

Wenn das Gas äusserst verdünnt ist, erschweren nach Elster und Geitel magnetische Kräfte den Uebergang der Elektrizität.

Gerade diese letzteren Beobachtungen über den Einfluss von Luftströmungen und magnetrischen Kräften scheinen sehr zu Gunsten der Hypothese zu sprechen, dass das Leitungsvermögen erhitzter Gase auf Bildung und Wanderung von Ionen beruht.

---

1) Oberbeck, Berl. Sitzungsb. 1895, 313.

2) Pettinelli und Marolli, Rendic. Acc. Lincei (5) **5**, II, 136, 1896.

3) Tyndall, Proc. Roy. Inst. **6**. 1872.

4) Lodge und Clark, Phil. Mag. (3) **17**, 314, 1884.

5) Righi, Rend. Lincei **6**, 151, 1890.

6) Vgl. ferner Fleming, Beibl. **14**, 318, 1890; J. J. Thomson, Phil. Mag. (5) **29**, 358, 441, 1890.

7) Branly, C. R. **114**, 831, 1892.

27. Leitung der Flammengase.

Durch die Entstehung von Ionen in Folge chemischer Prozesse scheint sich auch das eigenartige elektrische Verhalten der Flammen zu erklären. Es haben sich damit beschäftigt:

Du Fay (1725), Du Tour (1745), Watson (1746), Priestley (1767), Volta (1782), Ritter (1801), Ermann (1802 und 1819), Cuthbertson (1806), Brande (1814), Becquerel (1824, 1853 und 1854), Pouillet (1827), Faraday (1832), Andrews (1837), Riess (1843), Henrici (1850), Hankel (1850 und 1859), Buff (1851 und 1854), Gaugain (1853), Grove (1854), Matteucci (1854), Reitlinger und Kraus (1863), Neyreneuf (1873, 1874, 1875, 1876), Douliot (1873), Hittorf (1874), Braun (1875), Fuchs (1875), Holtz (1876), Herwig (1877), Hoppe (1877), Braun (1878), Herwig (1878), Holtz (1880), Giese (1882), Elster und Geitel (1882 und 1883), Kollert (1884), de Hemptinne (1893), Braun (1894), J. J. Thomson (1894) u. A.[1])

Die Anziehung einer Flamme durch den Knopf einer negativ geladenen Leydener Flasche beschreibt zuerst Cuthbertson[2]), welcher die Beobachtung schon 1777 gemacht hatte. Cavallo[3]) (1785) beschreibt denselben Versuch bei Anwendung einer Elektrisirmaschine:

„Wird die Flamme eines Wachslichtes gegen die (an eine drahtförmige Verlängerung des Konduktors angebrachte) messingene Kugel gehalten, so wird sie in eine fast horizontale Lage geblasen und erhält dabei eine Richtung, die von der Kugel hinweggeht, d. i. die Richtung der elektrischen Materie. Wird aber ein solcher Draht mit einer Kugel an das isolirte Kissen befestigt, so wird die Flamme des Wachslichtes, wenn man sie gegen diese Kugel hält, ebenfalls nach der Richtung der elektrischen Materie, d. i. auf die Kugel zugeblasen, und zeigt also die wahre Richtung dieser Materie auf eine sehr einfache und überzeugende Art.“[4])

Hiernach hat es den Anschein, als ob einer Flamme ein unipolares Leitungsvermögen zukäme, d. h. als ob sie sich nur der einen Elektrizitätsart gegenüber als Leiter verhielte.

Hittorf[5]) (1869) untersuchte den Widerstand einer Bunsenflamme: „Befindet sich die Bunsen'sche Flamme durch zwei Drähte von Platin in den Schliessungsbogen einer galvanischen Kette eingeschaltet, so erhält man dieselbe Ablenkung des Galvanometers, wie verschieden auch der Abstand der Elektroden ist, wenn die Kathode ihre Stelle unverändert behauptet. Erst

1) Bezüglich der mannigfachen erhaltenen Resultate sei auf G. Wiedemann, Elektrizität, IV, 2, S. 868 u. ff. verwiesen.

2) Cuthbertson, Gilbert's Ann. **24**, 113, 1806.

3) Cavallo, Abh. S. 243, 1785; vgl. ferner Renner, Gilb. Ann. **8**, 330, 1801.

4) Vgl. ferner W. Holtz, Beibl. **5**, 367, 1881.

5) Hittorf, Pogg. Ann. **136**, 227, 1869.

wenn der positive Draht aus dem heissen Kegel in die kalte Umgebung gelangt, geht die Nadel zurück. Dieser Versuch zeigt, dass der Widerstand der Flammensäule gegen denjenigen verschwindet, welcher in der Umgebung der Kathode auftritt. Man darf nicht so verfahren, dass die Kathode verschoben wird, indem alsdann sehr verschiedene Ausschläge erhalten werden."

Er versuchte ferner die Leitung durch Anwendung eines Knallgasgebläses möglichst hoch zu steigern, was indess aus dem Grunde nicht direkt möglich war, weil sich keine hinreichend schwer schmelzbaren Elektroden finden liessen. „Um wenigstens einige Zahlen zu erhalten, habe ich dem Leuchtgase statt reinen Sauerstoffs ein Gemenge von 3 Vol. dieses Gases mit 2 Vol. Stickstoff zugeführt und die Lampe benutzt, welche gegenwärtig zum Gasblasen allgemein dient. In dieser Flamme schmelzen die Drähte des Platins zwar auch zu Kugeln, jedoch weniger schnell, wenn der Durchmesser über $^1/_2$ mm beträgt. Ein Bunsen'sches Element gab an dem Galvanometer mit langem Drahte dem astatischem Nadelpaare die bleibende Ablenkung 73°, während in der nichtleuchtenden Bunsen'schen Flamme dieselbe bloss 3° betrug.[1])

Hittorf[2]) fand ferner, dass mit 15 Chromsäureelementen noch starker leuchtender Durchgang der Entladung durch hochverdünnte Luft erzielt werden konnte, wenn als Kathode eine weissglühende Kohle benutzt wurde. Für dunkle Entladung genügten schon weit geringere Spannungen, z. B. 1 Element. Bei 12 Elementen bekleidete sich nur der positive Pol mit blauem Lichte, der Zwischenraum blieb dunkel.

Seiner Ansicht nach besteht deshalb kein Unterschied zwischen der Leitung der Flammengase und der leuchtenden (disruptiven) Entladung, die Gase sind an sich Leiter der Elektrizität[3]) und nur ein eigenthümliches Hinderniss an der Kathode, welches z. B. durch starke Erhitzung derselben beseitigt werden kann, hindert unter gewöhnlichen Umständen den Durchgang des Stromes. Auch die Natur des Gases ist von Einfluss, wie er schon bei früheren Versuchen gefunden hatte. Er sagt: „Von allen Gasen leitet am besten der Dampf des Kaliums. Nach demselben folgt das Natrium.

Stellt man einen Platindraht mit einer Perle von kohlensaurem Kali in den obersten Schichten der Bunsen'schen Flamme auf und versieht dieselbe dadurch mit den Dämpfen des Kaliums, während die tiefer liegenden, welche unverändert bleiben, einen leeren Platindraht enthalten, so ist die Ablenkung der Nadel, je nach der Richtung des Stromes, der durch die Drähte in die Flamme geleitet wird, sehr verschieden. Die Nadel wird, wenn die Perle

---

1) Vgl. auch Hoppe, Ueber den Leitungswiderstand von Flammen, Wied. Ann. **2**, 83, 1877.

2) Hittorf, Wied. Ann. **21**, 135, 1884 und Pogg. Ann. **136**, 229, 1868.

3) Bei niederer Temperatur und bei geringen Spannungen sind indess auch nach Hittorf (Wied. Ann. 7, 596, 1879) die Gase vollkommene Isolatoren. Sonst ist der spezifische Widerstand der Stromstärke umgekehrt proportional (ibid. S. 573).

negativ ist, bis an die Hemmung geworfen; ist sie positiv, so beträgt die Ablenkung bei derselben Kette nur wenige Grade.“

Mit dieser Auffassung von Hittorf stimmen indess wenig die Versuche von Mascart[1]), welchen zufolge die von einer elektrisirten Flamme ausgehende elektrische Luft in die Höhe zur Zimmerdecke steigt, an derselben entlang strömt und selbst Drahtnetz zu durchdringen vermag, so dass man das Potential der in einem zur Erde abgeleiteten Drahtnetzkasten abgegrenzten Menge bestimmen kann.

Wird in 8 m Entfernung eine zweite mit einem Elektrometer verbundene Flamme isolirt aufgestellt, so geht ein Strom in das Elektrometer, der durch Strömungen in der Luft, wie sie durch Auf- und Zumachen von Thüren erzeugt werden, beeinflusst wird. Wird durch eine Flamme die Elektrizität einer Holtz'schen Influenzmaschine entladen, so kann das Potential der elektrischen Luft in der Mitte des Zimmers bis zu 2000 Volt ansteigen.

Nach Giese[2]) (1882) ist das Leitungsvermögen der Gase ein elektrolytisches. Entsprechend der Clausius'schen Ionenhypothese[3]) nimmt er an, dass auch in Gasen einzelne elektrische Atome oder Atomgruppen vorhanden sind, wenn auch in geringer Menge. Mit steigender Temperatur wächst ihre Zahl. Bei Abkühlung des Gases können sich die durch die Erwärmung entstandenen Ionen nur langsam wieder zu elektrischen Molekülen vereinigen.

Befindet sich in der Nähe einer Flamme ein elektrisch geladener Körper, so diffundiren die Ionen den Kraftlinien folgend aus der Flamme heraus gegen den elektrischen Körper hin und bewirken dessen Entladung. Man braucht keineswegs (wie Mascart) anzunehmen, dass die Flammengase die Ionen erst zur Zimmerdecke emporführen und dann wieder mit herunternehmen.

Nach Braun[4]) (1878) wird allerdings die Verbreitung von leuchtenden Metalldämpfen in der Flamme eines Bunsen'schen Brenners beim Durchgang eines Stromes nicht gestört, was sich mit der Vorstellung einer Ionenwanderung nicht wohl in Einklang bringen lässt, doch ist zu berücksichtigen, dass die Stärke der angewandten Ströme sehr gering, die Ladung der Ionen dagegen sehr beträchtlich, somit deren Verschiebung bei solchen Versuchen kaum bemerkbar ist.

Auch Arrhenius[5]) kommt zu dem Ergebniss, dass das Leitungsvermögen (speziell von Salzdampf enthaltenden Flammen) sich auf Grund der Ionentheorie befriedigend erklären lässt, also ein rein elektrolytisches ist.

Anderer Ansicht dagegen ist Simon,[6]) da die Potentialdifferenz in Luft mindestens 2900 Volt betragen muss.

1) **Mascart**, C. R. **95**, 917, 1882.
2) **Giese**, Wied. Ann. **17**, 538, 1882.
3) **Clausius**, Pogg. Ann. **101**, 335, 1857.
4) **F. Braun**, Wied. Ann. **3**, 436, 1878.
5) **Arrhenius**, Wied. Ann. **42**, 18, 1891.
6) **Simon**, Wien. Ber. **104**, 565, 1895.

Ebenso wenden sich E. Wiedemann und G. C. Schmidt[1]) mit Entschiedenheit gegen die Annahme einer elektrolytischen Leitung, weil sie keine dem Faraday'schen Gesetze entsprechende Zersetzung des Gases (HCl, $HgCl_2$, $HgBr_2$ und HgJ_2) beobachten konnten, wenn das Gas in der Nähe der Elektroden abgesaugt und dadurch Vermischung der gebildeten Zersetzungsprodukte mit der übrigen Gasmasse verhindert wurde. Auch machen sie auf die Schwierigkeit aufmerksam das Leitungsvermögen der einatomigen Gase (Hg-, Cd- und Zn-Dampf) zu erklären.

Pellat[2]) suchte weiteren Aufschluss zu erhalten durch Bestimmung der elektromotorischen Kraft verschiedener Flammen.

Elster und Geitel[3]) sind der Ansicht: „Jede Flamme kann angesehen werden als ein Strom heissen Gases, der von aussen eingeführte Elektroden, sowie die in ihm suspendirten glühenden Körperchen negativ elektrisch erregt."

Palmieri[4]) beobachtete positive Elektrisirung einer Flamme beim Einsenken eines Platindrahtes in dieselbe.

Luvini[5]) beobachtete die Zerstreuung der Elektrizität ohne und bei Gegenwart von Flammen und glühenden Kohlen.

Buchanan (1887) führte Messungen über den Ladungsverlust eines Kondensators aus, dessen Belegungen mit zwei isolirten Platinblechen oder Messingkugeln verbunden waren, zwischen welchen eine schmale Gasflamme brannte. (Phil. Mag. (5), **24**, 297.)

Borgmann (1888) liess den Strom einer Influenzmaschine zwischen der Flamme eines Bunsenbrenners und einer Weingeistlampe in 0,7 bis 1,5 m Abstand zur Erde abfliessen. Es fand sich, dass zum Uebergang der Elektrizität aus einer Flamme zur Luft ein grösseres Potential nöthig war, wenn die Flamme positiv, als wenn sie negativ war. Durch Schirme aus Drahtnetz konnte ein Theil des Stromes abgezweigt werden. Die Maschenweite des Drahtnetzes war dabei unwesentlich. (Lum. électr. **27**, 70, 126, 182.)

Es gelang ihm auch, die äquipotentiellen Stellen in der Luft beim Uebergang des Stromes zwischen zwei Flammen festzustellen. In vertikaler Richtung über der durch die Flammen gehenden Horizontalebene war die Aenderung geringer als unter derselben.

E. Wiedemann und Ebert[6]) sprechen sich dahin aus: „Der Vorgang des Elektrizitätsüberganges in den Flammen ist nicht als eine Leitung anzusehen, sondern trägt völlig den Charakter der disruptiven Gasentladungen.

Die Anwesenheit von Metalldämpfen setzt die zum Uebergange nöthige Spannung an den Elektroden bedeutend herab: Kalium und Magnesium nehmen

1) E. Wiedemann und G. C. Schmidt, Wied. Ann. **61**, 746, 1897.
2) Pellat, C. R. **100**, 745, 1885.
3) Elster und Geitel, Wied. Ann. **26**, 1, 1885.
4) Palmieri, Beibl. **10**, 429, 1886.
5) Luvini, C. R. **103**, 495, 1886.
6) E. Wiedemann und Ebert, Wied. Ann. **35**, 255, 1888.

der Intensität ihrer Wirkung nach eine hervorragende Stellung unter den andern Metallen ein, wahrscheinlich in Folge der durch sie erzeugten ultravioletten Aetherschwingungen; doch äussert sich ihre Wirkung nur auf die negative Elektrode.

Chemische Prozesse in den gefärbten Flammen können die Form der Erscheinung verändern, nicht aber den disruptiven Charakter der Entladungen aufheben.“

A. de Hemptinne[1]) stellt folgende Sätze auf:

1. Die Gegenwart von Ionen genügt nicht, um einen Durchgang von Elektrizität zuzulassen.
2. Die Wärme begünstigt die Existenz freier Ionen.
3. Bei vorhandener Leitfähigkeit ist Dissoziation vorhanden, nicht aber umgekehrt.
4. Der Durchgang von Elektrizität findet nur statt, wenn die Elektroden eine höhere Temperatur haben.
5. Die höhere Temperatur der Elektroden allein genügt nicht.

Wenn man nach Aitken die Verbrennungsprodukte einer Flamme mittelst Wattepfropfens filtrirt, oder, wenn man sie tagelang im geschlossenen Gefäss stehen lässt, so verlieren sie die Eigenschaft, Nebelbildner zu sein, ganz ebenso wie Luft, die mit sichtbarem Staub geschwängert ist, oder mit glühenden Körpern in Berührung war. Man könnte also auf die Vermuthung kommen, dass auch Staub bei der Leitungsfähigkeit der Flamme eine Rolle spiele.

Da sich ferner die Leitungsfähigkeit der Flammengase, wie Hittorf gezeigt hat, wesentlich erhöht, wenn man die Elektroden mit verdampfenden Salzperlen versieht, so könnte man auch das Entweichen von Dämpfen als Ursache der Elektrizitätsfortführung betrachten.

Nach den Untersuchungen von Blacke nahm man früher an, dass Dämpfe elektrisirter Flüssigkeiten keine Elektrizität fortführen könnten. Exner (1886) wies indess in neuester Zeit nach, dass wenigstens Alkohol und Aetherdampf solche konvektive Entladung beobachten lassen, ja Lecher (1887) vermochte die Erscheinung selbst bei Wasser zu beobachten. Nothwendig war indess, dass das Wasser sehr stark (bis zu 25000 Volt) elektrisirt war und selbst dann waren die fortgeführten Elektrizitätsmengen nur sehr gering. Wurde das Wasser wieder entladen, so liess sich in der Nähe desselben elektrisirter Wasserdampf in der Luft nachweisen, welcher eine längere Zeit freischwebende Wolke bildete.

Nach Precht[2]) erschwert die Anwesenheit von Flammengasen (z. B. wenn in dem Beobachtungsraum vorher Gasflammen gebrannt haben) Beobachtungen über das Ausströmen der Elektrizität aus Spitzen, und zwar beträchtlich. Die Flammengase haben die Eigenschaft, die Elektrizität längere

1) A. de Hemptinne, Zeitschr. f. phys. Chem. **12**, 244, 1893.
2) Precht, Wied. Ann. **49**, 160, 1893.

Zeit festzuhalten. Bei seinen Versuchen war die sehr starke Ladung der Luft noch 40 Minuten lang mit dem Exner'schen Elektroskop und einer kleinen Flamme nachweisbar.

Das Elektroskop machte vom Beginn der Ladung an kleine zuckende Bewegungen, die darauf hindeuten, dass bei Anwesenheit von Verbrennungsgasen schon ausserordentlich kleine Elektrizitätsmengen aus der Spitze entladen wurden. Die negative Elektrizität fand scheinbar gar keinen Widerstand beim Uebergang in die Gase.

Vermuthlich spielen solche nicht beachtete Verbrennungsgase auch eine Rolle bei den Untersuchungen über die sog. „Zerstreuung" der Elektrizität,[1]) d. h. bei dem scheinbaren Leitungsvermögen kalter und nicht in chemischer Umsetzung begriffener Gase.

Wenn ein elektrisch gemachter Konduktor, etwa ein mit Chlorcalcium imprägnirter Bogen Papier, an einem Seidenfaden aufgehängt und durch Annähern eines Elektroskops bis zu bestimmtem Abstande zeitweise das Vorhandensein des elektrischen Zustandes geprüft wird, so findet sich, dass derselbe nach und nach verschwindet. Zum Theil wandert die Elektrizität durch den Seidenfaden fort, zum Theil durch die Luft. Dass Leitung durch die Luft thatsächlich stattfindet, könnte man leicht dadurch nachweisen, dass man den Seidenfaden an einem zweiten Konduktor aufhängt und durch zeitweises Zuführen von Elektrizität dafür sorgt, dass dieser beständig stärker elektrisch bleibt als der erste. Es kann dann unmöglich die Elektrizität aus dem ersten entlang dem Seidenfaden in den zweiten kommen.

Hittorf[2]) schlägt vor, eine Entscheidung dadurch herbeizuführen, dass man eine elektrisch geladene Kugel längere Zeit nach der von Reuleaux (1876) beschriebenen Methode auf einem (staubfreien) Luftstrahl schweben lässt und prüft, ob eine Abnahme der Elektrisirung stattfindet.

Aus den Versuchen Coulomb's[3]) schien hervorzugehen, dass die Luftmoleküle in ähnlicher Weise wie Staubtheilchen Elektrizität von der Oberfläche geladener Körper fortführen können, indem sie sich gleichnamig elektrisch laden und abgestossen werden. Schon Faraday (1839) nahm dagegen an, dass die Gase vollkommene Isolatoren seien und ebenso Maxwell (1873). Nach der Ansicht von Warburg (1872) ist die Zerstreuung nicht durch einen Uebergang der Elektrizität auf die Lufttheilchen selbst, sondern auf den in der Luft enthaltenen Staub bedingt. Verdünnt man nämlich die Luft, wodurch der Zerstreuungskoeffizient kleiner wird, so tritt letzteres nicht sofort ein.

---

1) Aeltere Versuche über Zerstreuung siehe Belli, Bibliothèque Universelle 1836 Sept. 152.

2) Hittorf, Wied. Ann. **7**, 599, 1876.

3) Dellmann, Schlömilch Zeitschr. **11**, 325, 1866; Charault, Compt. rend. **16**, 108, 1860; Warburg, Pogg. Ann. **145**, 578, 1872; Matteucci, Ann. de Chim. et de Phys. (3) **27**, 133; **28**, 385, 1850; Narr, Wied. Ann. **5**, 145, 1878; **8**, 272, 1879; **11**, 155, 1880; **16**, 558, 1882 u. A.

sondern erst nach einiger Zeit, was man sich durch das allmähliche Niederfallen von Staubtheilchen erklären kann. Ebenso erfolgt zuweilen die plötzliche Ausströmung erst einige Zeit nach der Entladung, indem sie (nach Warburg's Ansicht[1]) durch ein zufällig angezogenes, als Spitze wirkendes Staubfäserchen veranlasst wird.

Ueber den Einfluss der Feuchtigkeit auf die Zerstreuung der Elektrizität haben W. Thomson, Blake (1883), Luvini (1886) bei geringem Potentialgefälle, Hittorf (1879), Munck af Rosenschöld (1834) und Marangoni (1881) bei grossem Potentialgefälle Untersuchungen angestellt mit dem Resultate, dass feuchte Luft ebenso gut isolirt wie trockene. Nach neueren Untersuchungen von Giovanni Guglielmo (1887) soll dies indess nicht ganz richtig sein, sondern Konduktoren, welche über 600 Volts geladen sind, sollen in feuchter Luft, namentlich wenn der Dampf dem Sättigungspunkte nahe ist, mehr verlieren als in trockener, und zwar einerlei, welches die Form des Konduktors ist. Der Verlust einer feinen Spitze soll ebenso gross sein, wie der einer Kugel. Hieraus scheint indess zu folgen, dass es sich bei den Versuchen nur um Ableitung von Elektrizität durch Stützen gehandelt hat.

Auch Nahrwold (1887) kommt zu dem Resultate: „dass die aus Spitzen ausströmende Elektrizität nicht die Luft selbst statisch elektrisirt, sondern den in ihr suspendirten, aus festen oder flüssigen Körpern bestehenden Staub.“

Später (1888) bemerkt allerdings Nahrwold, dass seine Methode überhaupt nicht gestatte, nachzuweisen, dass die Luft nicht elektrisch werden könne, da sie in der Zeit, welche zwischen Ladung und Beobachtung vergeht, ihre Elektrizität wieder verloren haben kann.

Bei Versuchen von Narr wurde eine geladene isolirte Kugel im Innern eines metallenen Gehäuses aufgehängt und der Elektrizitätsverlust beobachtet. Es ergab sich unmittelbar nach der Ladung eine plötzliche starke Ausströmung (leuchtende Entladung), dann ein langsamer allmählicher Verlust, den Narr als Folge konvektiver Entladung deutet.

Narr (1888) hat neuerdings in modifizirter Form seine Versuche wieder aufgenommen, indem er das Metallgefäss, in welchem die elektrisirte Kugel aufgehängt wurde, nicht direkt mit der Erde verband, sondern unter Zwischenschaltung einer Luftschicht (Zwischenraum zwischen dem Gefäss und einer dasselbe umgebenden geometrisch ähnlichen Hülle). Die Luftschicht vermochte die Elektrizität zu leiten und zwar in gleicher Weise, mochte ihr Druck 720 mm oder nur 1 mm betragen.[2])

Weitere Beobachtungen über Zerstreuung der Elektrizität machte Naccari.[3]) Er fand das Coulomb'sche Gesetz $V = V_0 \cdot e - \alpha t$ bestätigt. Staub scheint

1) Neueren Untersuchungen zufolge dürfte es sich um einen sog. „Entladungsverzug“ handeln (siehe weiter unten).

2) Narr, Wied. Ann. **5**, 145, 1878; **8**. 266, 1879; **11**, 155, 1880; **16**, 558, 1882; **22**, 550, 1884; **33**, 295 und 702. 1888; **44**, 133, 1891.

3) Naccari, Beibl. **20**, 567, 1896.

ohne Einfluss zu sein. Ebensowenig Temperatur und angebrachte Spitzen. Dagegen beschleunigte Bewegung der Luft den Elektrizitätsverlust, besonders bei Anwesenheit von Verbrennungsgasen.

Nach Bidwell[1]) wird ein Elektroskop auch durch Phosphor entladen, was vielleicht mit der Ozonbildung bei langsamer Oxydation des Phosphors zusammenhängt.

28. Lichtelektrischce Wirkungen (Aktinoelektrizität).

H. Hertz[2]) war der erste, welcher einen Einfluss des Lichtes auf die elektrische Entladung entdeckte. „Nach den Resultaten unsrer Versuche hat das ultraviolette Licht die Fähigkeit, die Schlagweite der Entladungen ... zu vergrössern." ist das Schlussergebniss seiner Versuche.

Hallwachs[3]) erweiterte bald darauf diesen Satz dahin, dass sich der Einfluss des Lichtes auch auf elektrostatisch geladene Körper erstreckt, insofern es möglich ist, dieselben ohne Funkenbildung durch Belichtung zu entladen. Es fand sich nämlich, dass eine der Bestrahlung durch kurzwelliges Licht ausgesetzte Oberfläche (Metallplatte) sich von selbst zu einem durch ihre Beschaffenheit und durch die Lichtintensität, sowie die Natur und Dichtigkeit des umgebenden Gases bestimmten positiven Grenzwerthe ladet,[4]) welcher durch Anblasen der Fläche noch erhöht werden kann.[5]) Die negative Elektrizität geht dabei in das Gas über, welches nun die Eigenschaft erhält positiv elektrisirte (nicht belichtete) Oberflächen zu entladen.

Diese Wirkungen erinnern, worauf Elster und Geitel[6]) zuerst aufmerksam machten, sehr an das Verhalten der durch Kontakt mit einer glühenden Oberfläche ionisirten Luft. In einer Wasserstoffatmosphäre ist die Wirkung in beiden Fällen geradezu gleich, in einer Sauerstoffatmosphäre entgegengesetzt.[7])

E. Wiedemann und Ebert[8]) fanden bei weiteren Versuchen, dass bei Belichtung einer Funkenstrecke mit dem Lichte einer Bogenlampe die zuvor unstät hin- und herspringenden Funkenbahnen sich zu einer einzigen völlig

1) Bidwell, Beibl. **21**, 143, 1897. Siehe auch Usener, Ztschr. f. phys. Chem. **18**, 191, 1895.

2) H. Hertz, Wied. Ann. **31**, 983, 1887.

3) Hallwachs, Wied. Ann. **33**, 301, 1888.

4) Hallwachs, Wied. Ann. **34**, 731, 1888.

5) Bichat und Blondlot, Beibl. **13**, 38, 1889.

6) Elster und Geitel, Wied. Ann. **41**, 161, 1890.

7) Vgl. ferner: Arrhenius, Wied. Ann. **33**, 638, 1888; Righi, Beibl. **12**, 286, 1888; Bichat und Blondlot, Beibl. **12**, 605, 1888; Stoletow, Beibl. **12**, 605, 1888; Righi, Beibl. **12**, 605, 721, 1888; Hallwachs, Wied. Ann. **34**, 731, 1888.

8) E. Wiedemann und Ebert, Wied. Ann. **33**, 241, 1888.

geradlinigen ruhig an ihrer Stelle verharrenden zusammenschlossen. Der Einfluss der Funkenstrecke auf die Entladungen in einer hinter dieselbe geschalteten Geissler'schen Röhre verschwand. Die Zahl der Entladungen in der Zeiteinheit erschien im Verhältniss 4 : 3 vergrössert. Alle diese Wirkungen wurden aber bei Belichtung der Kathode hervorgebracht, Belichtung der Anode oder des Luftzwischenraums war ohne Einfluss.[1])

Naccari[2]) belichtete eine isolirt aufgehängte geladene Kugel durch Induktionsfunken. Es fand sich die gleiche Beschleunigung des Elektrizitätsverlustes, mochte die Kugel positiv oder negativ sein. Die Wirkung rührte her von der durch die Funken veränderten Luft und konnte verstärkt werden, dadurch, dass man die Funkenstrecke in eine Flasche einschloss und durch diese einen Luftstrom gegen die Kugel leitete.

Wurde der Luft Wasserdampf oder Terpentinöldampf beigemischt, so war (namentlich im letzteren Fall) die Wirkung eine sehr viel geringere.[3])

Die Zerstreuung wurde dagegen sehr begünstigt[4]) durch leuchtenden Phosphor. Terpentinöl, welches das Leuchten des Phosphors verhindert, hinderte auch die entladende Wirkung.

Nach Righi[5]) folgen die bei der photoelektrischen Konvektion von dem beleuchteten Körper ausgehenden elektrischen Theilchen den elektrischen Kraftlinien, wenigstens bei höherem Druck. Bei niederem wird die Konvektion diffuser. Bei hohem Potential und den stärksten Verdünnungen nähern sich die Bahnen der Theilchen mehr und mehr den Normalen zur ausstrahlenden Oberfläche.

Wirkt ein Magnet auf den bestrahlten Leiter, so dass die magnetischen Kraftlinien seiner Oberfläche parallel sind, so wächst die positive elektrische Dichtigkeit, welche der Leiter annimmt, mit der Verdünnung weniger oder bleibt nahe konstant.

Ebenso kann nach Elster und Geitel[6]) die lichtelektrische Entladung durch Erregung eines in der Nähe befindlichen Elektromagnets bei den minimalsten Gasdrücken bedeutend verlangsamt, ja fast zum Stillstand gebracht werden. In dem Augenblicke, in welchem der Magnetismus wieder beseitigt wurde, setzte sich die Entladung wieder in früherer Weise fort.

---

1) Vgl. ferner: Hallwachs, Wied. Ann. **37**, 666, 1889; Righi, Beibl. **13**, 198, 1889; J. Borgmann, C. R. **108**, 733, 1889; Hoor, Beibl. **13**, 731, 1889; Stoletow, Beibl. **13**, 902, 1889; Righi, Beibl. **13**, 976, 1889; Bachmaljew, Beibl. **14**, 315, 1889; Elster und Geitel, Wied. Ann. **38**, 497, 1889; Wied. Ann. **39**, 332, 1890; **41**, 161, 1890; **42**, 364, 1891.

2) Naccari, Atti di Torino **24**, 131, 1888/89.

3) Naccari, Beibl. **14**, 665, 1890.

4) Nacarri, Beibl. **14**, 665, 1890.

5) Righi, Beibl. **14**, 663 und 1167, 1890.

6) Elster und Geitel, Wied. Ann. **38**, 27, 1889.

Nach Stoletow[1]) ist es nothwendig, dass die Strahlen durch die Körperoberfläche absorbirt werden. Einige färbende Stoffe (Anilinfarben) sind die empfindlichsten Körper, Wasser ist unempfindlich.

Zwei Platten, zwischen denen eine Volta'sche Kontaktpotentialdifferenz existirt, stellen eine Art von galvanischem Elemente dar, solange die elektrisch negative Platte mit den aktiven Strahlen beleuchtet ist.

Der scheinbare Widerstand der Luft folgt nicht dem Ohm'schen Gesetze.

Temperaturerhöhung verstärkt die aktinoelektrische Wirkung.

In verdünnter Luft wächst die Wirkung mit der Verdünnung bis zu einem günstigste Drucke und nimmt dann wieder ab. Bei sehr kleinen Verdünnungen steigt die Stromstärke beständig mit der Verdünnung und nähert sich derselben Grenze, der die ein Maximum zeigenden für geringere Verdünnungen geltenden Kurven beim Hinabsteigen zustreben.

Nach Branly[2]) sind die Strahlen, welche Zerstreuung der positiven Elektrizität veranlassen, stärker brechbar, als die auf negative Ladung wirkenden.

Nach Elster und Geitel[3]) ist Flussspath im Sonnen- und Tageslicht deutlich lichtelektrisch wirksam, am stärksten der sog. „Stinckfluss“. Die Entladung geht an frischen Bruchflächen weit rascher vor sich als an alten. Im Vakuum verschwindet die Lichtempfindlichkeit, in Berührung mit feuchter Luft kehrt sie zurück. Glühen zerstört dieselben dauernd. Im Uebrigen kommen Elster und Geitel[4]) zu dem Ergebniss:

1. Der Widerstand einer Geissler'schen Röhre gegen die leuchtende Entladung eines Induktoriums wird vermindert, wenn man die aus einem reinen Alkalimetall gebildete Kathodenfläche dem Lichte aussetzt. Die Erscheinung tritt besonders deutlich bei geringem Gasdrucke (0,1 bis 0,01 mm Quecksilber) ein.

2. Der Widerstand, den ein verdünntes Gas dem photoelektrischen Strome in einem magnetischen Felde entgegensetzt, ist am grössten in der Richtung senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien.

Nach Breisig[5]) zeigt sich die Hallwachs'sche Form der lichtelektrischen Entladung besonders stark bei Alkoholdampf und Aetherdampf, in sehr geringem Maasse bei Schwefelwasserstoff.

Bei Belichtung einer amalgamirten Zinkspitze, aus welcher Elektrizität ausströmt mit ultraviolettem Lichte, fand Precht[6]) eine Spannungserniedrigung bei negativer Ladung von 7 Prozent, bei einer Platinspitze von 5 Prozent. Bei positiver Ladung der Spitze war kein Einfluss zu bemerken.

---

1) Stoletow, J. de Phys. (2) 9, 468, 1890 und Beibl. **14**, 322, 1890.

2) Branly, C. R. **110**, 751 und 898, 1890 und Beibl. **15**, 662, 1891 und **114**, 58, 1892.

3) Elster und Geitel, Wied. Ann. **44**, 735, 1891.

4) Ebenda **46**, 290, 1892.

5) Breisig, Beibl. **17**, 60, 1893.

6) Precht, Wied. Ann. **49**, 162, 1893.

Cantor[1]) ist der Ansicht, dass Belichtung des Kupfers eine Oxydation bewirkt und oxydirte Platten stärker lichtempfindlich sind. Platten, welche mit lichtempfindlichen Präparaten bedeckt waren, erwiesen sich auch als lichtelektrisch sehr empfindlich.

Nach Branly[2]) sind nur frisch polirte Platten lichtempfindlich.

Simon[3]) setzte ein Glasgefäss, welches mit verschiedenen Gasen gefüllt werden konnte, zwischen die Platten eines mit dem Induktorium verbundenen Kondensators. Von einem bestimmten Druck (im Gefässe) an, bei Luft 25 mm Hg, bei H_2 45 mm, bei CO_2 19 mm, erhöhte die Belichtung des Gefässes die Kapazität des Kondensators. Es musste aber die Spannungsdifferenz der Platten mindestens 2900 Volt betragen.

Elster und Geitel[4]) beobachteten, dass die Intensität des photoelektrischen Stromes abhängig ist von der Richtung der Lichtschwingungen gegen die Kathodenfläche und ein Maximum erreicht, wenn die Polarisationsebene des Lichtes zur Einfallsebene normal ist, ein Minimum für die dazu senkrechte Lage.

Die Alkalimetalle Kalium, Natrium und Rubidium sind verschieden empfindlich und zwar in der benutzten Reihenfolge, so dass Rubidium das empfindlichste ist.

Die lichtelektrische Zerstreuung von pulverisirtem Flussspath ist von der Färbung abhängig und zwar ist der stärkst (violett oder grün) gefärbte am empfindlichsten.

Wanka[5]) glaubte bewiesen zu haben, dass auch die Potentialschwankungen in der Nähe einer Funkenstrecke, falls sie hinreichend rasch erfolgen und die passende Richtung haben, die Entladung in einer parallelen zweiten Funkenstrecke hervorrufen können. (Vgl. dagegen Borgesius, Diss. Groningen, 1892.)

Ebenso glaubte Jaumann bewiesen zu haben, dass elektrische Schwingungen wie Licht wirken können. Nach Swyngedauw[6]) war indess bei diesen Versuchen stets ultraviolettes Licht vorhanden. Bei Ausschluss desselben sind Potentialschwankungen ohne Einfluss.

Nach demselben Autor ist die Wirkung des ultravioletten Lichtes auf das „dynamische“ Entladungspotential viel beträchtlicher als auf das „statische“, wobei unter dem dynamischen das bei rascher, unter dem statischen das bei langsamer Ladung der Elektroden beobachtete Potential verstanden wird.

Hiermit stimmen auch die Versuche von Warburg[7]), welcher zu dem Ergebniss kommt: „Steigert man die Potentialdifferenz zwischen zwei metalli-

1) Cantor, Wien. Ber. **102**, 1188, 1893.

2) Branly, C. R. **116**, 741, 1893 und Beibl. **18**, 741, 1894.

3) Simon, Wien. Ber. **104**, 565, 1895.

4) Elster und Geitel, Wied. Ann. **52**, 440, 1894 und **55**, 684, 1895.

5) Wanka, Beibl. **17**, 1103, 1893.

6) Swyngedauw, C. R. **121**, 121, 118, 1895 und **122**, 131, 1052, 1896 und Heydweiller, Wied. Ann. **61**, 541, 1897.

7) Warburg, Wied. Ann. **59**, 14, 1896.

schen Elektroden, welche sich in atmosphärischer Luft oder in gasverdünntem Raum befinden, langsam, bis die Funkenentladung erfolgt, d. h. bis zur statischen Entladungspotential-Differenz, so ergiebt sich diese wenig verschieden, mag die Kathode bestrahlt werden oder nicht.

Eine Potentialdifferenz, einige tausendstel Sekunden lang angelegt, kann sieben oder mehrmal grösser als die statische Entladungspotential-Differenz sein, ohne die Entladung im Dunkeln zu bewirken, ruft aber, wenn auch wenig grösser als die statische Entladungspotential-Differenz, im kräftigen Bogenlicht die Entladung stets hervor."

Hieraus erklärt sich auch ein Theil der Versuche von Hertz, E. Wiedemann und Ebert, Elster und Geitel bezüglich der Wirkung des Lichtes, sowie die von Faraday beobachtete Anomalie der Schlagweiten.

Röntgen[1]) entdeckte, dass auch die nach ihm benannten Strahlen (ebenso wie Lenard's Kathodenstrahlen) sehr intensive entladende Wirkung äussern, indess nicht direkt, sondern indem sie die Luft leitend machen.

Nach Wehnelt[2]) kann man die entladende Wirkung der Röntgenstrahlen schon bei einer gewöhnlichen Elektrisir- oder Influenzmaschine zeigen, indem man die Konduktoren soweit auseinander zieht, bis eben noch kräftige Funken überspringen. Wird die in 50 cm Entfernung aufgestellte Röntgen-Röhre in Thätigkeit gesetzt, so hört der Funkenstrom auf, tritt aber sofort wieder hervor, wenn man durch eine zwischengeschobene Bleiplatte die X-Strahlen aufhält.

Während ein Luftstrom, der von Röntgenstrahlen getroffen wurde, längere Zeit die Fähigkeit behält, elektrisirte Körper zu entladen, lässt sich nach Batelli und Garbasso[3]) keinerlei derartige dauernde Aenderung der Luft bei Bestrahlung mit ultraviolettem Licht nachweisen.

Nach Villari[4]) besitzt durch Röntgenstrahlen aktivirte Luft ihre Leitfähigkeit auch noch, wenn sie ein 10 m langes Rohr passirt hat. Die Natur dieses Rohres ist ohne Einfluss.

Wasserstoff, Leuchtgas, Kohlensäure, Dämpfe von Aether und Schwefelkohlenstoff beschleunigen die Entladung und behalten ebenfalls diese Fähigkeit noch nach dem Aufhören der Bestrahlung, indess weniger lang als Luft. Luft und Leuchtgas erlangen die Entladungsfähigkeit auch beim Durchsetzen einer Glasröhre, in welcher die Entladungsfunken eines Induktoriums mit Leydener Flaschen übergehen.

F. Braun[5]) fand die entladende Wirkung der mit Röntgenstrahlen behandelten Luft von gleicher Grössenordnung wie diejenige elektrisirter Luft. Beim Filtriren durch Watte verloren beide die entladende Wirkung.

---

1) W. C. Röntgen, Sitzb. d. phys.-med. Ges. zu Würzburg, 1895 und Berl. Akad. Ber. **26**, 576, 1897. Vgl. auch über Lenardstrahlen: Des Condres, Wied. Ann. **62**, 143, 1897.

2) Wehnelt, Naturw. Rundschau **11**, 672, 1896.

3) Batelli und Garbasso, Nuovo Cim. (4) **3**, 321, 1896.

4) Villari, Beibl. **20**, 1012, 1896.

5) F. Braun, Wied. Ann. **59**, 688, 1896.

Villari[1]) wies ferner nach, dass die Entladung elektrisirter Körper durch Röntgenstrahlen eine konvektive ist. Die fortgeführte Elektrizität kann sich auf benachbarten isolirten Körpern anhäufen. Die Entladung findet nur statt, so lange der Körper mit Luft in Berührung ist.

Righi[2]) zeigte weiterhin, dass die Fortführung der Ladung eines Leiters bei Bestrahlung mit Röntgenstrahlen ebenso wie bei Anwendung von ultravioletten Strahlen längs den Kraftlinien des elektrischen Feldes erfolgt.

N. Umoff und A. Samoïloff[3]) erzeugten elektrische Schatten auf einer Ebonitplatte mittelst einer Röntgen-Röhre. Dieselben erschienen stark verzerrt, entsprechend den krummlinigen Bahnen der ionenhaltigen Luft.

J. J. Thomson und E. Rutherford[4]) fanden, dass staubfreie Luft, welche durch Bestrahlung mit Röntgenstrahlen leitend geworden war, diese Eigenschaft nicht verlor, wenn man sie durch ein weissglühendes Porzellanrohr leitete, wohl aber beim Durchleiten durch Wasser.

Wurde sie zwischen zwei Metallelektroden durchgeleitet, welche mit einer Batterie von einigen galvanischen Elementen verbunden waren, so verlor die Luft die Leitfähigkeit ähnlich wie eine sehr verdünnte Lösung eines Elektrolyten, aus welcher der letztere durch einen Strom ausgefällt wird.[5])

Der Strom erreichte in diesem Falle bei Steigerung der elektromotorischen Kraft ein Maximum, welches mit dem Abstand der Platten sich vergrösserte, offenbar weil die Zahl der leitenden Theilchen in der Raumeinheit eine beschränkte war.

Eine Schätzung ergab, dass die Zahl der leitenden Theilchen etwa $\frac{1}{3 \cdot 10^{12}}$ der Gesammtmasse betrug. (Vgl. S. 129.)

Für ein Gefälle von 1 Volt pro Centimeter ergab sich eine Wanderungsgeschwindigkeit der Theilchen von ca. 0,33 cm/sec., während sie für Ionen unter denselben Umständen ca. 50 cm/sec. hätte betragen müssen. Hieraus scheint zu folgen, „dass die geladenen Theilchen in dem den Röntgenstrahlen exponirten Gase Mittelpunkte einer Gruppirung von einer beträchtlichen Zahl von Molekülen sind.“

Im Wasserstoff war der grösstmögliche Strom (Sättigungsstrom) kleiner als in Luft, in dieser 20 mal kleiner als in Quecksilberdampf.

Polarisation konnte nicht beobachtet werden, die leitenden Theilchen schienen im Stande, ihre Ladung mit grösster Leichtigkeit an Metalle abzugeben, im Gegensatz zu anders elektrisirter Luft. Die Verfasser halten es deshalb für wahrscheinlich, dass das Gas selbst strahlt, nachdem es Röntgenstrahlen ausgesetzt gewesen.

---

1) Villari, Rend. Acc. des Lincei (5) **5**, 419. 1896.

2) Righi, C. R. **123**, 399, 1896.

3) N. Umoff und A. Samoïloff, Phil. Mag. (5) **42**, 308, 1896.

4) J. J. Thomson und E. Rutherford, Phil. Mag. (5) **42**, 392, 1896.

5) Vgl. auch Villari, Rend. Acc. Lincei (5) **6**, 17, 48, 1897, welcher zu ähnlichem Resultate gelangt.

Natürlich konnte die bestrahlte Luft auch leicht elektrisch gemacht werden.

Durch die besprochenen Versuche scheint die Wirkung von Licht- und Röntgenstrahlen auf die Entladung im Wesentlichen aufgeklärt. Durch die Bestrahlung wird die Bildung von Ionen in der Luft hervorgerufen: im Falle der Lichtstrahlen nur an der Oberfläche der Elektroden, bei Anwendung der Röntgenstrahlen aber auch in der Luft direkt, und die so ionisirte Luft bewirkt nun Entladung der Elektroden in ähnlicher Weise wie Luft, welche durch Kontakt mit glühenden Oberflächen oder durch einen Verbrennungsprozess (wie in Flammen) ionisirt ist.

Das elektrische Feld wird hierdurch verändert und die disruptiven Entladungen erfolgen anders, als wenn die konvektive Entladung durch die ionisirte Luft nicht stattfände.

Da nun die Entladungen, wie gezeigt, stets begleitet sind von Temperaturerhöhung der Elektroden, chemischer Veränderung des Gases und Erzeugung von Strahlen, so ist der Verlauf der Entladungserscheinungen ein sehr komplizirter.

Bereits Crookes[1]) (1891) weist darauf hin, dass durch die Anwesenheit phosphoreszirender Körper in der Vakuumröhre oder Anwendung einer phosphoreszirenden Glassorte die Entladungsspannung herabgesetzt wird. Offenbar handelt es sich hier um eine Wirkung der von den phosphoreszirenden Körpern ausgehenden Strahlen.

Dass auch ohne Anwesenheit solcher, lediglich durch die Wirkung der von der Entladung selbst erzeugten Strahlung eine Herabsetzung des Entladungsgradienten bewirkt wird, geht aus einer Mittheilung von E. Wiedemann und Ebert[2]) hervor. Sobald die Druckbedingungen solche sind, dass die Entwicklung der Kathodenstrahlen eine reichlichere wird, wird der unterstützende Einfluss der Belichtung unmerklich.

In gleicher Weise erklären sich ältere Versuche von Hittorf, welchen zufolge ein von Entladungen durchsetztes Gas eine eigenthümliche Leitungsfähigkeit annehmen sollte.

Arrhenius[3]) schreibt: „Ich habe mich selbst davon überzeugt, dass gewöhnliche Luft bei Rothglühhitze kein merkbares Leitungsvermögen besitzt. Dagegen leitet die bei niedrigem Drucke phosphoreszirende Luft bei viel niedrigeren Temperaturen.“ Demnach scheinen Leitungsvermögen und Leuchten innig zusammenzuhängen.

Im Gegensatz hierzu finden E. Wiedemann und Ebert l. c.: „Innerhalb einer in eine primäre Entladung eintauchenden, mit einer Elektrizitätsquelle verbundenen Funkenstrecke, also in der elektrolumineszirenden Luft, findet keine Leitung im gewöhnlichen Sinne statt, immer sind es durch diese

---

1) Crookes, Chem. News. **63**, 53—114, 1891.

2) E. Wiedemann und Ebert, Wied. Ann. **35**, 209, 1888.

3) Arrhenius, Wied. Ann. **32**, 571, 1887.

oder jene Vorgänge veranlasste Erniedrigungen der zum Elektrizitätsübergang nöthigen Spannung, welche im Falle des Durchgangs einer primären Entladung das Zustandekommen der sekundären erleichtern." Die Wirkung kann entweder eine direkte elektrische Wirkung der primären Entladung sein, oder eine lichtelektrische Wirkung ihrer Kathodenstrahlen.

Auch folgende Beobachtung von Puluj[1]) dürfte hierher gehören: „Erwähnenswerth finde ich auch die beobachtete Thatsache, dass alle Körper, z. B. Glimmerblättchen, in den Weg strahlender Materie gebracht, bei grossen Verdünnungsgraden sehr stark elektrisch werden, so dass sie an Drähten oder Glaswänden haften bleiben; es muss daher bei Konstruktion aller Apparate, in welchen bewegliche Theile angebracht werden sollen, auf diesen Umstand Rücksicht genommen werden."

Vermuthlich handelt es sich hierbei um eine elektrische Wirkung, welche den von den Strahlen getroffenen Körpern die negative Elektrizität entzieht und dieselben positiv elektrisch zurücklässt. Auf dieser Wirkung dürfte auch theilweise die Funktion des elektrischen Radiometers[2]) von Crookes beruhen. Eine eingehende Untersuchung desselben hat ebenfalls Puluj (l. c.) durchgeführt.

29. Das positive und negative Büschellicht.

Während bei geringeren Stromstärken das negative Glimmlicht eine von der Elektrodenoberfläche überall nahezu gleichweit abstehende Hülle bildet, wie die Abbildung Taf. IV Fig. 3 andeutet, entsteht bei stärkerer Stromzufuhr, d. h. bei Verminderung des in den Stromkreis eingeschalteten Widerstandes, gleichbleibende elektromotorische Kraft vorausgesetzt, eine Deformation, wie Abbildung Taf. IV Fig. 4 andeutet. Die Glimmlichthülle erhält da, wo augenscheinlich die Stromdichte am grössten ist, eine starke Einbuchtung[3]) und in dieser tritt in der Regel durch einen dunkeln Raum, den „Trennungsraum", geschieden, röthliches sog. „Büschellicht" in Form eines gegen die Anode hin sich ausbreitenden Lichtbüschels oder Pinsels auf. Bereits das auf Taf. I Fig. 1 dargestellte kometenartige Gebilde ist eine solche Kombination von Glimmlicht und Büschellicht, bei welcher indess der Trennungsraum fehlt. Bei den folgenden Figuren, sowie bei Fig. 5 Taf. IV tritt letzterer scharf hervor.

In ähnlicher Weise setzt sich an das positive Glimmlicht bei stärkerer Stromzufuhr ein positiver Büschel, welcher mit breiter Fläche dem Glimmlicht

1) Puluj, Strahlende Elektrodenmaterie, Wien 1883, S. 17.

2) Ebenda, S. 37—59.

3) Vielleicht in Folge der entladenden Wirkung der Bestrahlung, während ringsumher durch stärkere Anhäufung positiver Ionen in Folge der Temperaturerhöhung die Dicke des dunkeln Kathodenraums zunimmt.

aufsitzt und in der Regel nicht durch einen dunklen Raum davon getrennt ist (Taf. IV Fig. 1).

Bei höheren Drucken zieht sich das Glimmlicht, wie die Abbildungen Taf. IV Fig. 2 zeigt, beträchtlich zusammen und konzentrirt sich meist auf ein hellleuchtendes kleines Lichthäufchen.

Schon der Farbenunterschied zwischen Glimm- und Büschellicht, dann aber auch namentlich der Umstand, dass das blaue negative Glimmlicht und das zugehörige rothe Büschellicht sich scheinbar unter Umständen durchdringen können (was in Wirklichkeit unmöglich ist, da an einer Stelle, wenigstens nach Faraday's Theorie, die Moleküle nur in einer Weise zerfallen können), weisen darauf hin, dass Glimmlicht und Büschellicht nicht gleichzeitig, sondern nacheinander auftretende Lichtphänomene sein müssen, in gleicher Weise wie auch der rothe Lichtsaum der Kathode und die blaue Glimmlichthülle den früheren Darlegungen gemäss nicht gleichzeitig auftretenden Entladungserscheinungen zugehören können.

Dass auch positives und negatives Büschellicht im Allgemeinen nicht zugleich auftreten, sondern völlig selbständige Erscheinungen sind, wenn sie auch zuweilen zu einem einzigen Lichtstreifen scheinbar verschmelzen, geht einestheils aus der verschiedenen Form (Taf. III Fig. 8), andererseits aus der verschiedenen Färbung hervor, welche z. B. bei dem citirten Falle beim negativen Büschel mehr ziegelroth, beim positiven karminroth war.[1])

Der negative Büschel ist nur kurz und hatte beispielsweise in einem elektrischen Ei von 1 m Länge und 25 cm Durchmesser eine Länge von etwa 8 cm, während der positive den ganzen übrigen Raum zwischen den Elektroden von etwa 60 cm Länge erfüllte.

In Geissler'schen Röhren scheint das Verhältniss das umgekehrte zu sein und gewöhnlich der positive Büschel ganz zu fehlen.

Aendert man den Abstand der Elektroden, so behält, wie in Fig. 8 Taf. III angedeutet, der negative Büschel seine Länge unverändert bei, nur der positive verkürzt sich.

Auch dieses Verhalten zeigt deutlich, dass der negative Büschel ganz unabhängig vom positiven ist und unmittelbar nach Entstehung des negativen Glimmlichts auftritt. Erst nach Verlauf der negativen Büschelentladung kann die positive eintreten, welche sich dann nur bis dahin erstreckt, wo der durch den negativen Büschel erzeugte elektrische Wind hingelangt ist, der nun durch die positive Büschelentladung seine Elektrizität verliert, indem diese, da wo sie endigt, durchschnittlich ebensoviel positive Elektrizität hinterlässt, als der negative Wind wegnimmt. Ein Theil des elektrischen Windes geht allerdings bis zu den Elektroden.

Verschiedene Formen der beiden Büschel bei grösserer Stromstärke (bis 3 Amp.) und Elektrodenabständen von 10—20 cm zeigt die Fig. 134 Nr. 5—12.[2])

1) O. L., Zeitschr. f. Elektrochemie, II, Taf. III Fig. 49, 1896.
2) O. L., Zeitschr. f. phys. Chemie 18, 107. 1895.

Von den beiden Büscheln kann auch der eine gemäss dem, was bereits auf S. 216 bemerkt wurde, vollständig fehlen. Die Abbildung Taf. VI Fig. 1 zeigt z. B. eine von mir beobachtete Form der Entladung in einem grossen elektrischen Ei,[1]) wobei der negative Büschel sich unmittelbar an das negative Glimmlicht ansetzte, während der positive vollständig fehlte.

Um die Erscheinung der Lichtbüschel am positiven oder am negativen Konduktor der Elektrisirmaschine zu beobachten, muss der Konduktor in eine kleine Kugelfläche von nur 5—10 mm Durchmesser enden, der man dann entweder die Hand oder eine grössere ebene Metallfläche nähert. Statt der kleinen Kugel kann man auch successive dünnere an ihrem Ende halbkugel-

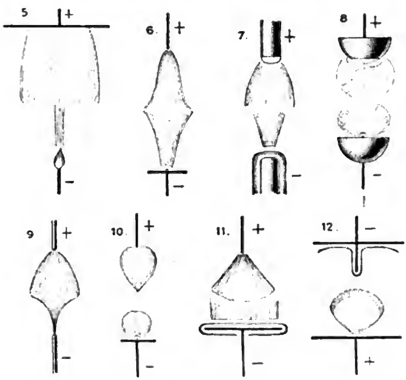


Fig. 134.

förmige Drähte in den Konduktor stecken. Auch umgekehrt erhält man die Büschel, jedoch mit einiger Abänderung, wenn man nämlich die kleine Kugel oder den Draht in die Hand nimmt und dieselbe der grossen Konduktorkugel nähert. Diese Erscheinungen zeigen sich nur schön bei Maschinen von grösserer Schlagweite, und je kleiner diese ist, desto feiner muss der angewendete Draht sein, wenn man noch etwas von Büscheln wahrnehmen soll.

Sehr grosse Büschel erhielt ich bei Anwendung der Hochdruckinfluenzmaschine als einer positiven Spitze eine grosse mit Seidenzeug überzogene runde Holzscheibe gegenübergestellt wurde, welche auf der Rückseite mit metallischer Belegung versehen und mit dem negativen Pol verbunden war.

Versuche über Glimm- und Büschelentladung in der als Elmsfeuer bekannten Form, d. h. bei sehr grossen Elektrodendistanzen, schlechtleitenden

1) O. L., Zeitschr. f. Elektrochemie II, Taf. I Fig. 21, 1895.

Elektroden und reichlicher Elektrizitätszufuhr, hat neuerdings v. Obermayer[1]) ausgeführt.

Faraday[2]) äussert sich über den Büschel:

„Die Entladung beginnt an der Wurzel, erstreckt sich allmählich auf alle Theile eines einzelnen Büschels und geht beständig von der Wurzel und den bereits gebildeten Theilen aus, bis das ganze Büschel vollendet ist, welches mit der Abnahme der Intensität und Kraft des Konduktors auf einmal in allen seinen Theilen verschwindet, um wieder aufzutreten, sobald jene Kraft bis zu einem hinlänglichen Grade gestiegen ist."

„Um diese Betrachtungen .... zusammenzufassen, darf ich sagen, dass es ein Funke gegen Luft ist, eine Ausbreitung elektrischer Kraft über Materie, nicht in Form von Leitung, sondern von disruptiver Entladung, ein aufgelöster Funke, der, zu sehr schlechtleitenden Substanzen übergehend, häufig nur einen kleinen Theil der in dem Leiter aufgespeicherten Kraft entladet; denn da die geladene Luft gegen den Leiter reagirt, während der Leiter durch Elektrizitätsverlust an Kraft einbüsst, hört die Entladung rasch auf, bis durch die Zerstreuung der geladenen Luft und die Erneuerung der Erregungszustände des Leiters die Bedingungen wieder ihren ursprünglichen wirksamen Zustand erreichen, um wieder Entladung zu veranlassen und wieder zu fallen und zu steigen."

Im rotirenden Spiegel betrachtet, zeigt die Büschelentladung nach Wesendonck[3]) „einen intermittirenden büschelförmigen Theil und einen unter gewöhnlicher Drehgeschwindigkeit kontinuirlichen, nämlich einen leuchtenden Streifen, als Verbreiterung der glimmenden Spitze, die bei Büscheln stets ausser dem baumförmigen Gebilde zu bemerken ist."

Diese Beobachtung zeigt sehr deutlich, dass die Aeste des Büschels nicht als unmittelbare Fortsetzung des Stiels betrachtet werden dürfen. Sie sind (meiner Ansicht nach) gewissermaassen negative Büschel, welche von der umgebenden Luft gegen den positiven Büschelstiel hinstrahlen und mit diesem in der dunkeln neutralen Stelle zusammentreffen.

Wenn man die Entladung im elektrischen Ei hervorruft und allmählich die Luft verdünnt, so wachsen Glimmlicht und Lichtpinsel an der Kathode in ihren Dimensionen und die beide trennende dunkle Stelle wird ohne Vergrösserungsglas deutlich sichtbar.

Schliesslich verschwinden die Verzweigungen des positiven Büschels zum grössten Theile und von den zahlreichen negativen Pinseln bleibt zuweilen nur ein einziger übrig, in welchen sämmtliche positive Zweige einmünden. Diese Vereinigungsstelle erscheint etwas eingebogen und die Aeste selbst bleiben durch einen etwas dunklern Raum von dem Stiel getrennt.

1) Obermayer, Sitzb. d. Wien. Akad. **97**, IIa, 247, 1888.
2) Faraday, Experimentalunters. S. 412, 1437 und S. 415, 1447, 1838.
3) Wesendonck, Wied. Ann. **40**, 483, 1890.

Spitzt man die Elektroden mehr und mehr zu, so werden in Luft von gewöhnlicher Dichte die Büschel bei immer geringeren Distanzen erhalten, die Zahl ihrer Aeste vermehrt, ihre Länge vermindert sich und die Form des Ganzen nähert sich bei grossen Distanzen immer mehr der halbkugelförmigen (Fig. 135), bei geringen der pinselartigen (Fig. 136). Eine wichtige Verände-

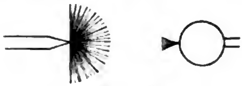


Fig. 135.



Fig. 136.

rung zeigt sich beim Stiel, welcher allmählich immer kleiner wird und bei Anwendung feiner Nadeln auf einen Punkt zusammenschrumpft, welcher so wenig zu unterscheiden ist von dem der Glimmentladung, dass sich beim Uebergehen der letzteren in Büschelentladung einfach ein kleiner Lichtbüschel daran anzusetzen scheint.

Der Ton des Büschels wird bei grösserer Zuspitzung der Elektroden, wie schon Beccaria[1]) beobachtete, immer höher, wie sich auch erwarten lässt, da das Entladungspotentialgefälle bei immer geringeren Potentialdifferenzen der beiden Elektroden erreicht wird.

Tesla[2]) fand, dass bei Anwendung bedeutender Elektrizitätsmengen, wie sie ein Hochfrequenztransformator liefert[3]), die Büschelentladungen in wahre Flammen übergehen, auf welchen man Körper wie auf Gasflammen erhitzen kann.

In freier Luft sollen in diesem Fall die Entladungen ebenso leicht aus einer Kugel, wie aus einer Spitze austreten. Die Elektrizität hat gewissermaassen keine Zeit, die dem Gleichgewichtszustand entsprechende Anordnung auf der Oberfläche der Elektroden anzunehmen. Mit andern Worten: die Niveau- und Kraftlinien, welche für den Fall des Gleichgewichts gelten, sind bei den Wechselströmen hoher Frequenz, wie sie ein Tesla-Transformator liefert, und mit Rücksicht auf die durch den Entladungsprozess selbst bedingten Störungen, nicht mehr hinsichtlich der Vertheilung der Werthe des Potentialgefälles maassgebend.

Bei hinreichend raschen Schwingungen wird das Licht weiss. Es gelang in Luft von gewöhnlicher Dichte 25—30 cm lange Büschelentladungen in Form „neblig weisser Ströme" zu erhalten. „Hält man die Hand gegen sie, so fühlt man nichts und ein einen Schlag verursachender Funke springt von dem Pole erst über, nachdem die Hand viel näher gebracht ist."

Besonders glanzvoll gestalteten sich die Büschel zwischen zwei parallelen Drähten, welche am einfachsten, wie Fig. 137 zeigt, als konzentrische Ringe angewendet und direkt auf die Pole des Oeltransformators aufgesetzt wurden.

---

1) Beccaria, Elettricismo artificiale 339, 1753.

2) Tesla, Le Nat. 19, 162, 1891.

3) Siehe N. Tesla's Untersuchungen über Mehrphasenströme, deutsch von H. Maser, Halle a. S., W. Knapp, S. 216.

Die Streifenentladung, welche sich in Luft von gewöhnlicher Dichte nur wenig von der Büschelentladung unterscheidet (Fig. 12 S. 14), schrumpft bei Annäherung oder Anwendung spitzer Elektroden auf einen einzigen Lichtstreifen zusammen, welcher die lichtschwächere Stelle noch deutlich erkennen lässt (Fig. 138 und Fig. 139). Der positive Theil ist mehr röthlich, der andere mehr bläulich. Auch der positive ist wieder aus zwei Theilen zusammengesetzt, welche den Theilen des Büschels entsprechen, nämlich der Strecke bis *b* dem Stiel und dem übrigen der Verzweigung entsprechenden Theil.

Im luftverdünnten Raum sind die beiden Büschel gewöhnlich zu einem einzigen Lichtstreifen vereinigt. So bemerkt schon Faraday (1838):

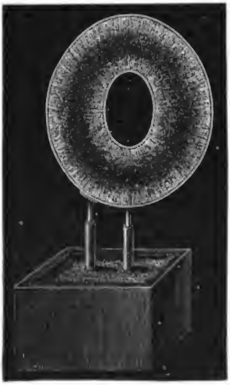


Fig. 137.

„Ich will nun einen sehr merkwürdigen Umstand in der vom negativen Glimmen begleiteten leuchtenden Entladung kennen lernen, welcher späterhin vielleicht mit Recht bis in



Fig. 138.

Entladungen von weit höherer Intensität verfolgt werden kann. Zwei Messingstäbe waren von den gegenüberliegenden Seiten her in eine



Fig. 139.

Glaskugel eingelassen und mit ihren Enden in Berührung gebracht; auch war die Luft stark verdünnt. Nun wurde eine elektrische Entladung aus der Maschine durch sie hingeleitet, und während diese fortfuhr, wurden die Enden von einander getrennt. Im Momente der Trennung erschien auf dem Ende des negativen Stabes ein andauerndes Glimmen, während das positive Ende ganz dunkel blieb. Bei Vergrösserung der Entfernung erschien ein purpurfarbiger Streifen auf dem Ende des positiven Stabes und schritt auswärts direkt auf den negativen Stab los; er verlängerte sich bei Vergrösserung des Zwischenraumes, vereinigte sich aber niemals mit dem negativen Glimmen, indem immer ein kurzer dunkler Raum dazwischen blieb. Dieser Raum von etwa $^1/_{10}$ bis $^1/_{20}$ Zoll war anscheinend unveränderlich in Ausdehnung und Lage in Bezug auf den negativen Stab; auch litt das negative Glimmen keine Veränderung. Seltsam war es zu sehen, wie der positive purpurfarbige Nebel sich beim Auseinanderrücken der Enden verkürzte oder verlängerte und demnach jener dunkle Raum und das negative Glimmen unverändert blieben."[1])

1) Vgl. ferner G. Wiedemann und Rühlmann (1872) und Reitlinger und Wächter (1880 und 1881); Matteucci, Compt. rend. **29**, 263, 1849; Dufour, Arch.

Die Auflösung des rothen Lichtfadens in einem positiven und einem negativen Büschel beobachtete wohl zuerst L. Dufour[1]) unter dem Mikroskop, nachdem vorhergehende Versuche von Neeff[2]) und Riess[3]) zu solchen Untersuchungen Anregung gegeben hatten.

Hittorf (1874) bemerkte die mikroskopische Büschelentladung an den zugespitzten, einander auf 15—18 mm genäherten Enden seiner Chromsäurebatterie von 1600 Elementen.

Der positive Büschel wurde sogar bei weniger als 800 Elementen erhalten, wenn als Kathode eine mit wolframsaurem Kalium ausgefüllte Platindrahtöse in einer Bunsen'schen Flamme diente. Die gut leitenden Dämpfe des Kaliums in Verbindung mit der hohen Temperatur bewirken dabei ein Ausströmen der negativen Elektrizität und die negativen Luftheilchen veranlassen dann an der Anode die Büschelentladung.

30. Die Pulsationen des Büschellichts.

Versieht man ein grosses weites elektrodenloses Geissler'sches Rohr mit ausgedehnten äusseren Belegungen und verbindet diese mit den Polen einer Hochspannungs-Akkumulatorenbatterie, so dass der Strom genöthigt ist, die Glaswand zu durchdringen, ohne sie zu durchbrechen, so sieht man das Rohr in regelmässigen Intervallen aufleuchten,[4]) und zwar sind die Pausen zwischen den einzelnen Entladungen um so kleiner, je besser die Glaswand leitet. Durch Verminderung ihres Widerstandes durch Erhitzen könnte die Folge der Entladungen eine so rasche werden, dass sie sich einzeln nicht mehr unterscheiden liessen und zur Erkennung der Intermittenzen der Drehspiegel oder das Telephon erforderlich würde. Dasselbe ist der Fall bei Anwendung eines Rohres mit Elektroden, wenn man die Stromstärke durch Einschaltung grosser Widerstände genügend vermindert. Vergrössert man umgekehrt die Stromstärke, so tritt schliesslich plötzlich scheinbar kontinuirliche Entladung ein.

Gassiot[5]) war der erste, dem es mit einer Kette von 3360 Elementen (Kupfer, Zink, Kochsalz) gelang, anscheinend kontinuirliche Entladungen zu erhalten, nachdem er früher[6]) zu dem Resultat gelangt war, die gewöhnliche

d. sc. phys. **28**, 147, 1867; du Moncel, Compt. rend. **49**, 40. 1859; Fabbri, Arch. de sc. phys. **2**, 58, 1858; Paalzow, Berl. Monatsber. S. 880, 1861; Warren de la Rue und H. W. Müller, Compt. rend. **85**, 792, 1877.

1) L. Dufour, Fortschr. d. Phys. XI, 404, 1855.
2) Neeff, Pogg. Ann. **66**, 414; **69**, 141.
3) Riess, Pogg. Ann. **91**, 292, 1854.
4) O. L., Wied. Ann. **47**, S. 428, 1892.
5) Gassiot, Pogg. Ann. **119**, S. 131, 1863.
6) Gassiot, Phil. Trans. 1859, I. 159.

Entladung der Volta'schen Batterie sei unter allen Umständen intermittirend, sie bestehe „aus einer Reihe von Pulsationen oder Vibrationen von grösserer oder geringerer Geschwindigkeit, je nach dem Widerstande in den chemischen oder metallischen Elementen der Batterie oder den leitenden Mitteln, durch welche die Entladung geht."

Zu demselben Ergebniss kamen später Hittorf[1]) und Hertz,[2]) wie schon oben angegeben wurde.[3])

Die Entladungen des Schliessungs- und Oeffnungsinduktionsstromes sind wie Donders (1868) und Nyland (1870) mittelst des Phonautographen und Wüllner (1874) mittelst des Drehspiegels nachgewiesen haben, stets aus einer grossen Reihe in regelmässigen Intervallen aufeinander folgenden Entladungen zusammengesetzt.

Mittelst des rotirenden Spiegels fand E. Wiedemann,[4]) dass mit abnehmendem Drucke die Zahl der Entladungen zunächst wächst und dann wieder abnimmt. Dementsprechend nimmt mit sinkendem Drucke die Gesammterwärmung erst langsam ab und dann sehr schnell zu.

Nach Paalzow und Neesen[5]) nimmt bei konstanter Spannung die Stromstärke mit abnehmendem Drucke zu, erreicht ein Maximum und fällt von demselben bis Null herunter. Die Erwärmung ist der Stromstärke direkt proportional. (Vgl. auch S. 152.)

Der Umstand, dass sich, wie schon oben hervorgehoben, die Konstanz der Spannung bei variabler Stromstärke und die damit in Beziehung stehende direkte Proportionalität zwischen Stromstärke und Stromwärme nur verstehen lassen, wenn die Entladungen intermittirend sind, ferner der Umstand, dass diese Sätze in gleicher Weise gelten für die wahrnehmbar intermittirenden Entladungen, wie auch für die scheinbar kontinuirlichen, dass ferner in diesen beiden Fällen nicht der geringste Unterschied der Lichterscheinungen zu erkennen ist, machen es wahrscheinlich, dass die scheinbar kontinuirlichen Entladungen in Wirklichkeit ebenfalls diskontinuirlich sind, wie schon oben aus theoretischen Gründen vermuthet wurde, wenn auch die Zahl der Pulsationen unter Umständen eine ausserordentlich grosse sein mag.

Sind die Betrachtungen, welche wir über Entstehung des Büschellichtes angestellt haben, zutreffend, so schreitet die Bildung eines solchen Lichtbüschels von der einen gegen die andere Elektrode hin vorwärts.

Versuche, die Geschwindigkeit dieses Fortschreitens der Entladung zu bestimmen, hat bereits Wheatstone[6]) ausgeführt. Er liess eine 6 Fuss lange

1) Hittorf, Wied. Ann. **7**, S. 568, 1879.

2) Hertz, Wied. Ann. **19**, 786, 1883.

3) Vgl. ferner Planté, Lum. éléctr. **20**, 337, 1886; Warburg, Wied. Ann. **31**, 555, 1887.

4) E. Wiedemann, Wied. Ann. **10**, 214, 1880.

5) Paalzow und Neesen, Wied. Ann. **56**, 277, 1895.

6) Wheatstone, Pogg. Ann. **34**, 468, 1835.

evakuirte Röhre im rasch rotirenden Drehspiegel sich spiegeln. Beim Durchgang der Entladung erschien sie aber ebenso wie im ruhenden Spiegel, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Entladung schien also unmessbar gross zu sein.

J. J. Thomson[1]) wiederholte die Versuche Wheatstones bei einer 15 m langen und 5 mm dicken Vakuumröhre, welche so gebogen war, dass man zwei Stücke derselben, das eine in der Mitte, das andere nahe dem einen Ende, gleichzeitig in gleicher Linie in einem sehr rasch (400—500 Touren pro Sekunde) umlaufenden Spiegel beobachten konnte. Es ergab sich eine Verschiebung der beiden Bilder, aus welcher zu schliessen ist, dass die Entladung von der Anode gegen die Kathode hin etwa mit der Hälfte der Lichtgeschwindigkeit fortschreitet.

Hieraus zieht Thomson den Schluss, dass die Elektrizität die Anode mit weit grösserer Geschwindigkeit verlässt als die Kathode, somit eine Anhäufung positiver Elektrizität in der Nähe der letzteren stattfinden muss.[2])

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit lässt sich nicht berechnen, weil die Entladung von einem gleich starken Verschiebungsstrom in entgegengesetzter Richtung begleitet ist, so dass kein magnetisches Feld und somit auch keine Verzögerung durch Selbstinduktion auftreten kann.

Wäre die von J. J. Thomson gefundene Zahl richtig, so würde die positive Entladung, um ein Rohr von 1 m Länge zu durchsetzen, 7 Milliontel Sekunden nöthig haben. Nimmt man an, dass die negative Entladung dieselbe Zeit gebraucht und dass sich diese Entladungen entgegengesetzter Richtung unmittelbar aneinander anschliessen, so wären pro Sekunde 75000 Partialentladungen möglich. Dieselben würden einen Ton erzeugen, welcher nicht mehr hörbar ist.

31. Die Potentialvertheilung (Kathodengefälle).

Da nach dem Vorigen die Entladung stets intermittirend ist, kann man nicht wie bei einem stationären Strome von der Vertheilung des Potentials, dem Verlauf der Stromlinien und der Form der Niveauflächen sprechen. In äusserst kleinen Zeitintervallen wechseln die Potentialwerthe und zwar so rasch, dass wir die Aenderungen nicht mittelst eines Elektrometers oder eines ähnlichen Messinstruments verfolgen können. Würden die Stromschwankungen mit

1) J. J. Thomson, Proc. Roy. Soc. **49**, 84, 1891.

2) Diese Auffassung stimmt mit einer früher von Plücker, Pogg. Ann. **107**, 110, 1859 geäusserten Ansicht. Derselbe sagt: „Die positive Elektrizität ist es, die hier den Weg bis zur negativen Elektrode macht: an dieser Elektrode hat die Ausgleichung der beiden Elektrizitäten chemische Wirkung und Wärmeentwicklung zur Folge.“ Auch oben (S. 164—171) und früher wurde aus andern Gründen auf Anhäufung positiver Elektriziät geschlossen.

mässiger Geschwindigkeit erfolgen, so müsste ein solches Instrument eine **mittlere** Spannung anzeigen, deren Verlauf allerdings aufs engste mit dem der wirklichen zusammenhängt.

In Wirklichkeit zeigt das Elektrometer die **maximale** Spannung an, da es wohl beim Ansteigen der Spannung Ladung aufnimmt, dieselbe aber beim Pansiren der Entladung, da eben die Leitung keine metallische ist, sondern die Strömung im Gase rascher erfolgt, nicht wieder abgiebt.

Dabei ist es nicht nöthig, die metallische Zuleitung zum Elektrometer, die „Sonde", direkt in die Entladungsbahn einzusenken, es genügt, sie aussen an der Entladungsröhre zu befestigen, da durch Influenzwirkung auch in diesem Falle in derselben eine ähnliche Spannung wie im Gase sich einstellen muss.[1])

Hittorf[2]) fand (in Uebereinstimmung mit Riess): „Die Stellen, welche in der Nähe der Mitte des Abstandes der Elektroden liegen, sind unelektrisch: die Gassäule wird immer stärker positiv nach der Anode zu und stetig negativer nach der Kathode hin. Wählt man aber eine so geringe Spannkraft des gasförmigen Mediums, dass der Widerstand des positiven Lichtes klein ist gegen denjenigen des negativen, so ist die Röhre auf der ganzen Länge positiv elektrisch. Die Kathode selbst musste berührt werden, um einen negativen Ausschlag am Bohnenberger'schen Elektroskope zu erhalten."

Nach Warren de la Rue und H. Müller[3]) wächst bei hohen Verdünnungen der gesammte Widerstand nur wenig mit der Länge der Gassäule, der Hauptwiderstand findet sich an der Uebergangsstelle zwischen dem Gase und den Elektroden, namentlich an der negativen. Im Uebrigen bleibt selbst bei Aenderungen der Stromintensität von 17—2300 die Potentialdifferenz der Elektroden unverändert.

Wie hoch in einem sehr stark evakuirten Rohre die Spannungsdifferenz zwischen Kathode und Anode trotz der die erstere umlagernden positiven Luftschicht werden kann, geht aus einer Beobachtung von Puluj[4]) hervor, welcher fand, dass in einer solchen Röhre das als Anode dienende Aluminiumblättchen in 2—3 mm Entfernung von der Kathode so stark von dieser angezogen wurde, dass es sich umbog und mit der Kathode vereinigte. Man muss wohl annehmen, dass bei dieser geringen Entfernung nur wenig elektrisirte Luft zwischen beiden Elektroden sich befand, die Hauptmenge hinter der Anode.

In solchen Fällen ist die ganze Innenseite der Gefässwand auf fast gleiche Spannung geladen wie die Anode oder richtiger die Zuleitung zu letzterer, denn der in das Gefäss hineinragende Theil der Anode ist alsdann nahezu

---

1) Hierauf beruht auch die elektrostatische Ladung der Gefässwände, welche schon Riess (Pogg. Ann. **104**, 323, 1858) untersuchte.

2) Hittorf, Pogg. Ann. **136**, 30, 1868.

3) Vgl. auch Varley, Proc. Roy. Soc. **19**, 236, 1871; Warren de la Rue und H. Müller, C. R. **86**, 1072, 1878 und Proc. Roy. Soc. **35**, 292, 1883; Phil. Trans. Roy. Soc. London (1) **169**, 155, 1878 und (1) **171**, 65, 1880.

4) Puluj, Strahlende Elektrodenmaterie, Wien 1883, S. 62.

unelektrisch, da er gewissermaassen ein Theil im Innern eines elektrisirten leitenden Körpers ist, wo sich einem bekannten Satze gemäss keine Elektrizität befinden kann.

Nach aussen verhält sich eine solche Röhre so, als ob sie auf der Aussenseite positiv elektrisch wäre, da die Ladung der Innenwand durch das Glas hindurch influenzirend wirkt. Man kann Funken an derselben erhalten nach demselben Prinzip, wie zwischen den Glaswänden einer Ozonröhre. (Vgl. S. 24.)

Sehr starke Ladungen beobachtete Puluj.[1]) Pendel von dünnwandigen Glaskugeln von der Grösse einer Haselnuss wurden aus Entfernungen von 1—2 cm angezogen und blieben an der Glaswand haften.

Mit abnehmender Gasdichte nimmt die Potentialdifferenz an den Enden einer von den Elektroden entfernten Lichtsäule bis zu einem Minimum ab, welches durch den in der Röhre zurückbleibenden Quecksilberdampf bedingt ist.

Th. Homén[2]) (1885) kommt zu dem Ergebniss:

„Auf Grund unserer Versuche mit durchgehenden Strömen ziehen wir den Schluss, dass man bei Leitung der Elektrizität durch verdünnte Luft den Widerstand im Luftraume in zwei Theile theilen kann, von welchem der eine, der eigene Widerstand der Luft, dem Abstande zwischen den Elektroden proportional, der andere, der Uebergangswiderstand an den Elektroden, von demselben unabhängig ist. Der Widerstand der Luft, der unabhängig oder nur wenig von dem Querschnitt der Luftsäule abhängig ist, wächst stetig mit dem Druck und zwar proportional oder nahe proportional mit demselben. .... Der Widerstand an den Elektroden dagegen wächst mit der Verdünnung immer schneller.“ ...

„Die Potentialdifferenz zweier Querschnitte der Luftsäule ist konstant, von der Stromstärke unabhängig.“

„Bei Drucken unter 20 mm, besonders bei 6.0 und 1,73 mm ist der Widerstand viel grösser im positiven Lichte als in dem dunklen Raume.

Nach Wesendonck[3]) ist der Widerstand der positiven Lichtsäule in hoch evakuirten Röhren verschwindend klein, das Hinderniss ist nur an der Kathode, der Widerstand ist somit nicht proportional der Elektrodendistanz. Krajewitsch[4]) hatte das Gegentheil behauptet.

Bezüglich des Einflusses der Grösse der Kathode schreibt Hittorf 1869:

„Bei derselben Dichte des Mediums erstreckt sich das Glimmlicht um so weiter von der Kathode, je kleiner die Oberfläche derselben ist. Gleich-

---

1) Puluj, Strahlende Elektrodenmaterie. Wien 1883. S. 16.

2) Homén, Acta Soc. Sc. Fennicae **16**, 107, 1886; **17**, 1888; **17**, 29, 1888. — Wied. Ann. **38**, 172, 1889.

3) Wesendonck, Wied. Ann. **35**, 450, 1888; ebenso Edlund, Rep. d. Phys. **12**, 389, 1886.

4) Krajewitsch, Rep. d. Phys. **19**, 119, 1883.

zeitig wachsen die Spannungen, welche auf den Elektroden die nämliche Entladung erzeugen und die Fluoreszenz des Glases stellt sich lebhafter ein. Um dieses Verhalten zu übersehen, befestigt man zwei gleiche cylindrische Röhren, welche verschieden lange drahtförmige Kathoden in ihrer Achse enthalten, an der Pumpe und schaltet sie hinter einander in denselben Induktionsstrom bei solchen Verdünnungen, dass beide Kathoden ganz vom Glimmlicht bedeckt sind. Besonders lehrreich wird dieser Versuch, wenn man die freie Oberfläche des einen Drahtes durch Einsenken in sein Haarröhrchen auf den letzten Querschnittt reduzirt und so annähernd eine punktförmige Kathode herstellt. Es entsteht um dieselbe eine schöne blaue Halbkugel von Glimmlicht, deren Radius bei einer Spannkraft der Luft, bei welcher die Hülle einer ausgedehnten Kathode noch eine kaum messbare Dicke besitzt, bereits über 1 cm beträgt und sehr rasch mit der Abnahme der Dichte wächst. So lange er noch klein ist, bleibt das negative Licht vom positiven durch einen dunkeln Raum getrennt. Dieser verschwindet jedoch und eine Berührung der beiden Lichter trittt ein, wenn ersteres sich sehr ausgebreitet hat."

Als Kathodengefälle bezeichnet Warburg[1]) die Potentialdifferenz zwischen der Kathode und einem Punkt der (unscharfen) Grenze des Glimmlichts. Den von der Stromstärke unabhängigen Werth, welchen das Kathodengefälle zeigt, so lange die Kathode noch nicht ganz mit Glimmlicht bedeckt ist, nennt Warburg das „normale Kathodengefälle".

Als Ursache desselben betrachtet Warburg eine Kontaktkraft, welche sowohl vom Gase, wie von der Natur des Drahtes abhängig ist. In der Glühhitze ist dieselbe wesentlich kleiner als bei gewöhnlicher Temperatur. Ein hartgezogener Draht hat grössere Kontaktkraft als ein weicher (l. c. 592).

In Wasserstoff zeigen die Metalle im Allgemeinen um so höheres Kathodengefälle, in je höherem Grade sie das Vermögen besitzen, die Verbindung des Wasserstoffs und Sauerstoffs unterhalb der Verbrennungstemperatur einzuleiten.

„Es scheint nach den gemachten Erfahrungen gestattet, die Frage aufzuwerfen: ob das grosse Kathodengefälle in einem absolut reinen Gase überhaupt vorhanden ist. Auf diese Frage führt die Thatsache, dass das Kathodengefälle in Stickstoff, je nachdem derselbe durch diese oder jene fremde Beimengungen verunreinigt ist, um 50 Prozent seines Werthes variiren kann und die Bemerkung, dass bei allen bis jetzt über das Kathodengefälle gemachten Beobachtungen die verwandten Gase nicht chemisch rein waren, wie aus den angebbaren Quellen der Verunreinigung und aus der spektroskopischen Beobachtung hervorgeht.

Es hat sich weiter das Kathodengefälle in Wasserstoff bei allen untersuchten Kathoden um so kleiner ergeben, je reiner das angewandte Gas war, und je mehr die Elektroden von fremden okkludirten Gasen befreit wurden. Für Magnesium und Aluminium wurde so das Kathodengefälle bezüglich auf

1) Warburg, Wied. Ann. **31**, 555, 1887.

170 und 190 Volt hinabgedrückt und es wurden bei verschiedenen Drahtstücken und verschiedenen Füllungen durch fortgesetzte Reinigung des Gases immer Werthe erhalten, welche den genannten nahe lagen.

Es scheint nun sehr fraglich, ob diese Werthe sich denen nähern, welche reinem Wasserstoff zukommen. Stickstoff, in einem Glasrohr ohne Trockenmittel aufbewahrt, nimmt von den Glaswänden Wasserdampf auf und durch diese Quelle der Verunreinigung wird das Kathodengefälle nach einigen Tagen auf einen Monate hindurch konstant bleibenden Werth gebracht, welcher schwach feuchtem Stickstoff entspricht und bei verschiedenen Elektroden desselben Materials und in verschiedenen Röhren sehr nahe gleich gefunden wird."

Nach Mebius[1]) geben chemische Aenderungen im Gase, insbesondere Verbindung von Sauerstoff und Stickstoff zu Störungen Anlass, welche sich auch durch entsprechende Aenderungen der Lichterscheinungen kundgeben. Aus diesem Grunde ist das Potentialgefälle nicht ganz unabhängig von der Stromstärke.

A. Herz[2]) gelangt zu folgenden Ergebnissen:

Der Potentialgradient v im positiven ungeschichteten Glimmlicht bei konstantem Strom nimmt mit wachsender Stromstärke i ab, und die Gleichung

$$v = v_0 - b\,(i - i_0)$$

giebt die Grösse dieser Abnahme mit hinreichender Genauigkeit wieder. Die Grösse b, das ist die Abnahme des Gradienten für die Einheit der Zunahme der Stromstärke, nimmt ab mit zunehmender Lichtweite des Rohres, ist aber nahezu unabhängig vom Druck und hat bei gleicher Lichtweite für Stickstoff und Wasserstoff nahezu denselben Werth.

Weiter nimmt der bezeichnete Potentialgradient mit zunehmender Lichtweite des Rohres ab und mit zunehmendem Drucke zu, wächst aber langsamer als der Druck. Er ist für sauerstofffreien Stickstoff zwischen 4 und 8 mm Druck 1,4 mal so gross als in Wasserstoff. Eine kleine Verunreinigung mit Sauerstoff treibt ihn in die Höhe.

Aus dem Spannungsabfalle ergeben sich ohne Weiteres die Wärmeverhältnisse. Dem Joule'schen Gesetze zufolge ist die pro Sekunde in einem von J Ampère durchflossenen Leiter, an dessen Enden die Spannungsdifferenz E herrscht, entwickelte Wärmemenge

$$W = \frac{1}{g \cdot 427} \cdot E \cdot J \text{ Kalorien.}$$

Ist nun wie bei einem metallischen oder elektrischen Leiter dem Ohmschen Gesetze zufolge

$$E = R \cdot J$$

wenn R den Widerstand des Leiters bedeutet, so folgt

$$W = \frac{1}{g \cdot 427} \cdot R \cdot J^2$$

d. h. die Stromwärme ist proportional zum Quadrate der Stromintensität.

---

1) Mebius, Wied. Ann. **54**, 520, 1895.

2) A. Herz, Wied. Ann. **54**, 263, 1895.

Bei Gasentladungen ist E nicht proportional zu J, sondern von der Stromintensität unabhängig, also gemäss obiger Formel die Stromwärme proportional zur ersten Potenz der Stromstärke.

Messungen von G. Wiedemann und von Paalzow und Neesen haben diese Konsequenz bestätigt.

Wendet man denselben Satz auf die einzelnen Theile der Entladung an, so folgt, dass da, wo das grösste Potentialgefälle auftritt, auch die stärkste Temperaturerhöhung sich finden muss. Auch diese Folgerung findet sich durch die Versuche bestätigt.

Gassiot (1858) war der erste, welcher die stärkere Temperaturerhöhung an der Kathode und zwar zunächst bei Induktionsfunken beobachtete. Im Jahre 1863 fand er sie auch bei Batterieentladungen im Vakuum.

Die Erwärmung des Gases durch die positive Lichtsäule studirte zuerst[1]) G. Wiedemann (1876), sodann folgten die Arbeiten von Naccari und Bellati (1878) und von E. Wiedemann (1880). Bückmann (1881) schmolz eine Plücker'sche Spektralröhre während des Durchgangs der Entladungen in der Mitte der Kapillaren durch und fand dann, dass die Gasdichte in den beiden Hälften nicht gleich gross war, geringer in dem die Kathode enthaltenden Theil, was sich wohl durch die dort herrschende höhere Temperatur erklärt.

Sehr eingehende Versuche über die Erwärmung der einzelnen Theile der Entladung machte sodann E. Wiedemann[2]) (1883). Er fand, dass die Wärmeerzeugung von der positiven Elektrode an erst ganz langsam, dann schnell wächst und innerhalb der Glimmlichtstrahlen ein Maximum erreicht. Von da an nimmt sie bis zu einem relativen Minimum innerhalb des dunkeln Kathodenraumes ab, wo sie aber immer noch bedeutender ist als im positiven Licht. Zum Schutz gegen die erwärmende Wirkung der Kathodenstrahlen wurde das Thermometer mit einem Glimmerschirm versehen.

Hittorf[3]) brachte drei möglichst gleiche Thermometer in einer hochevakuirten Entladungsröhre an, das eine dicht an der Kathode, das zweite in der äusseren hellsten Schicht des Glimmlichts, des dritte im positiven Licht. Das erste Thermometer zeigte den höchsten Stand, das dritte den niedrigsten. Die Unterschiede wuchsen mit der Stromstärke.

Durch die heisse Schicht von Glimmlicht, welche die Oberfläche der Kathode bedeckt, erklärt Hittorf auch die stärkere Erhitzung der Kathode selbst.

Puluj[4]) brachte ein Thermometer im Innern der Kathode an. „Der Versuch zeigte, . . . dass die Temperatur der Kathode grösser ist, wenn dieselbe vom Glimmlicht umfluthet wird, als wenn die Glaswände rings um das Thermometergefäss phosphoresziren. Im ersten Falle war die Temperatur 47° C., im letzteren trotz der geringeren Wärmeleitung des verdünnten Gases nur 41° C.

1) Siehe die Zusammenstellung in G. Wiedemann, Elektrizität, IV (1), 524 u. ff.
2) E. Wiedemann, Wied. Ann. **20**, 771, 1883.
3) Hittorf, Wied. Ann. **21**, 128, 1884.
4) Puluj, Strahlende Elektrodenmaterie, Wien 1883, S. 53.

Nach Hittorf[1]) bleibt in sehr verdünnten Gasen „die Spannungsdifferenz der Gashülle um die metallische Kathode nur klein und die Stromstärke kann nur gross erhalten werden, wenn das Glimmlicht auf der Oberfläche sich genügend ausdehnen kann. Dann ändert sich aber die Temperatur dieser Gashülle mit der Zunahme der Stromstärke so gut wie gar nicht. Wird das Glimmlicht hier auf eine kleine Fläche beschränkt, so ist eine bedeutende Zunahme der Stromintensität durch die rasch wachsende Spannungsdifferenz verhindert.“

Goldhammer[2]) untersuchte die Temperatur mittelst eines Thermoelements. Es ergab sich: „Mit steigendem Gasdruck wird die Temperatur der Kathode zuerst gleich derjenigen der Anode, dann niedriger als diese; gleichzeitig verschiebt sich das absolute Maximum der Temperatur, welches bei kleinen Drucken nahe an der Kathode liegt, in der Richtung nach der Anode.

R. W. Wood[3]) bestimmte die Temperatur mittelst einer bolometrischen Vorrichtung. Der Druck betrug etwa 1,5 mm, die Stromstärke 0,001 Ampère. „In dem ungeschichteten Anodenlicht war die Temperatur bisweilen nahe konstant; manchmal auch zeigte sie in der Nähe der Mitte ein Maximum und fiel wieder mit der Annäherung an den dunkeln Theil der Entladung..... Beim Verlassen des Anodenlichts fällt die Temperatur plötzlich, erreicht in der Mitte der dunklen Entladung ein Minimum und steigt alsdann wieder sehr schnell beim Eintritt in das blaue negative Licht.

Bezüglich der Bildung der Büschel- und Streifenentladung in Luft von gewöhnlicher Dichte liegen folgende Beobachtungen vor:

Belli (1838) zeigte mit Hülfe des Quadrantenelektrometers, dass auf dem positiven Konduktor zur Bildung des Büschels eine höhere Spannung erforderlich ist, als auf dem negativen.

Auch Faraday bemerkt: „Dieser letztere Schluss wird durch die optische Analyse der positiven und negativen Büschel zum Ueberfluss bewiesen, da die letztere Reihe von Entladungen sich fünf- bis sechsmal schneller als die erstere erweist.“

Nach den Beobachtungen von W. Holtz (1881) bildet sich der positive Büschel sehr schön, d. h. mit langem Stiel und zahlreichen Aesten aus, wenn eine positive Spitze einer negativen Platte gegenübersteht. Wird die Spitze abgestumpft oder durch Kugeln ersetzt, so entstehen Uebergangsformen zur Streifenentladung, welche sich dadurch, dass man schliesslich die Anode plattenförmig gestaltet und die Kathode kugelförmig oder spitz, kontinuirlich in eine der positiven ähnliche negative Büschelentladung überführen lassen.

Eine Aenderung der Lichterscheinung an der Spitze (Uebergang von Glimm- in Büschelentladung) hat nach Precht[4]) nicht nothwendig eine Aenderung der Spannung in einem bestimmten Sinne zur Folge.

---

1) Hittorf, Wied. Ann. **7**, 553, 1879; **20**, 705, 1883; **21**, 108, 1884.

2) Goldhammer, Beibl. **9**, 463, 1885.

3) R. W. Wood, Wied. Ann. **59**, 238, 1896.

4) Precht, Wied. Ann. **49**, 178, 1893.

Es bleibt also wohl die mittlere vom Elektrometer angegebene Spannung dieselbe, aber die Schwankungen sind bei Büschelentladungen wesentlich grösser.

Nach Heydweiller[1]) ist die Entladungsspannung unabhängig davon, ob die Entladung in Form von Büscheln oder Funken stattfindet, nur kann im ersten Fall, nachdem die Büschel entstanden sind, die Spannung noch etwas erhöht werden.

32. Die Funkenentladung.

Erzeugt schon die Berührung des Gases mit einer glühenden Metallfläche Ionen, welche den Verlauf des Entladungsprozesses beeinflussen, so lässt sich erwarten, dass bei der Bildung von Metalldampf an der Oberfläche der Elektroden, welche Bedingung der Funkenentladung ist, derartige Wirkungen noch in höherem Maasse sich bemerkbar machen werden.

In der That wirkt das Auftreten von Metalldampf in gleichem Sinne wie die früher behandelten störenden Umstände (Verminderung der Gasdichte, Erhöhung der Temperatur bei konstantem Druck und Ionenbildung durch Glühen der Elektroden, chemische Prozesse oder Bestrahlung der Elektroden); der Austritt der Elektrizität aus den Elektroden wird dadurch wesentlich begünstigt.

Bei Anwendung metallischer Elektroden, oder nichtmetallischer, welche ein Metall in irgendwelcher chemischer Verbindung enthalten, lässt sich bei einigermaassen starker Stromzuführung das Auftreten von Metalldampf gar nicht vermeiden.

Unter solchen Umständen tritt daher bei steigender Stromstärke schliesslich ein labiler Zustand ein, wobei die durch die Entladung selbst hervorgerufene Metalldampfbildung weitere Zunahme der Stromstärke, damit weitere Metalldampfbildung u. s. w. bedingt, so dass anscheinend plötzlich die Entladung ein ganz verändertes Aussehen annimmt, weil an der Stelle, wo sich der Metalldampf bildet, der Widerstand des Gases oder die dielektrische Festigkeit desselben so sehr vermindert erscheint, dass alle Stromlinien im Metall nach jener Stelle konvergiren, gerade als hätte man dort eine Oeffnung angebracht, durch welche das elektrische Fluidum ohne nennenswerthen Widerstand direkt ins Freie gelangen kann.

In Folge der Erhöhung der Stromdichte an dem betreffenden Punkt steigt daselbst die Stromarbeit, also die Temperatur und die Lichtintensität und in der Regel macht sich auch der davon ausgehende Metalldampf durch helle Strahlung und eigenthümliche Färbung in Form einer büschelförmig sich aus-

1) Heydweiller, Wied. Ann. 48, 213, 1893.

breitenden Flamme (**Metalldampfbüschel**) auffällig bemerkbar, wie z. B. Fig. 140 für Entladung zwischen zwei Spitzen in mikroskopischem Abstand andeutet.[1])

Die Metalldampfbüschel werden um so grösser, je grösser die Menge der zur Entladung kommenden Elektrizität ist (Fig. 140a). Der Metalldampfbüschel am positiven Pol ist mehr in die Länge, der am negativen mehr in die Breite ausgedehnt (Fig. 140b).

Nähert man deshalb die aus Kupfer bestehenden Elektroden eines Induktoriums, so halten sich nach Seguin (1863) die Luftlinien am längsten in der Nähe der negativen Elektrode.

Bei Quecksilberelektroden in mikroskopisch kleinem Abstande gestaltet sich die Entladung an beiden Enden fast durchaus gleich.[2]) Es gehen von den Elektroden sehr grosse Büschel glühenden Metalldampfes aus, welche von der äussern Seite von der Luft gleichsam zurückgeblasen werden und sich nur in der Mitte zu einer feinen Spitze verlängern. Diese beiden Spitzen sind durch ein verhältnissmässig dunkles, in der Mitte sehr verbreitertes röthliches Licht mit einander verbunden (Taf. II Fig. 11).



Fig. 140.

Hat die Entladung einige Zeit gedauert, so wachsen aus den als Elektroden dienenden, in Glasröhren eingeschlossenen Quecksilbertropfen, wie die Figur andeutet, in Folge der Oxydation Stäbchen (eigentlich mit Quecksilber erfüllte Oxyd-Röhrchen) heraus, welche die Metalldampfbüschel tragen und sich immer mehr verlängern und schliesslich zusammentreffen, falls sie nicht vorher abfallen.

In Folge der grossen Erleichterung des Elektrizitätsüberganges durch Bildung der Metalldampfbüschel und die dadurch bedingte ausserordentliche Erhöhung der Stromintensität vermag im Allgemeinen die Elektrizitätsquelle, wenn sie wie eine Elektrisirmaschine überhaupt nur wenig Elektrizität erzeugt, oder wenn wie bei Anwendung einer Akkumulatorenbatterie oder Dynamomaschine ein grosser Widerstand vorgeschaltet ist, nicht genügend Elektrizität zu liefern, um die Entladung konstant zu erhalten. Die Spannung der Elektroden fällt fast so momentan unter den Werth der Entladungsspannung herunter, dass trotz des vorhandenen Metalldampfs die Entladung ins Stocken kommt und erst nach einiger Zeit unter Bildung neuer Metalldampfbüschel ebenso plötzlich wieder einsetzen und verschwinden kann. Nur in diesem Fall spricht man von „**Funkenentladung**", während bei ausgiebiger Elektrizitätsquelle, welche den Strom (wenigstens scheinbar) auf konstanter Stärke zu erhalten vermag, die Entladung als „**Lichtbogen**" bezeichnet wird, da alsdann in Folge des grossen Energieverbrauchs die Temperatur so hoch steigt, dass man es nicht mehr mit Entladung in gewöhnlicher Luft, sondern in sehr stark erhitzter und deshalb flammenartig aufsteigender, sehr verdünnter Luft zu thun hat.

---

1) Vgl. auch P. Riess, Pogg. Ann. **91**, 292, 1854 und L. Dufour, Fortschr. **11**, 404, 1855; O. L. Wied. Ann. **11**, 700, 1880.

2) O. L., Wied Ann. **11**, 701, 1880.

Bei gewöhnlichen Funkenentladungen ist die Dauer so kurz, dass schon besonders feine Messvorrichtungen dazu angewendet werden müssen, dieselbe überhaupt zu konstatiren und Beleuchtung mit solchen Funken für Momentphotographie, z. B. zur Aufnahme fliegender Geschosse, fallender Tropfen, sich ausbreitender Schallwellen u. s. w. bessere Dienste zu leisten vermag als irgend ein anderes Mittel, kurz dauernde Belichtungen herzustellen.

Bei sehr schwacher Elektrizitätszufuhr beschränkt sich der sichtbare Theil der Funkenentladung auf die Bildung der Metalldampfbüschel, welche als sehr feine hellstrahlende Punkte erscheinen, während die sie verbindende Funkenbahn unsichtbar bleibt. Solche äusserst schwache Entladungen beobachtet man häufig in Vakuumröhren neben der gewöhnlichen Entladung, indem bald da bald dort an den Elektroden hellstrahlende Punkte aufblitzen.

Setzen sich an die Metalldampfbüschel kurze Funkenstiele an, wie z. B. bei den Entladungen in Flüssigkeiten Fig. 101 III S. 116, während der mittlere Theil wieder lichtlos ist, so nennt man die Funken nach Riess[1]) „schwache Funken“. Der positive Funkenstiel ist bei solchen gewöhnlich länger als der negative. Letzterer endigt mit scharfer Spitze, während der positive öfters mehrere seitlich abgebogene Spitzen besitzt.

Verbindet man die Pole einer Akkumulatorenbatterie von ca. 1000 Elementen durch lange, enge, mit Wasser gefüllte Kapillarröhren mit den Spitzen eines Funkenmikrometers, so gehen bei Annäherung derselben auf etwa 1 mm sehr dünne, blassweisse, fadenförmige Funken über, in um so grösseren zeitlichen Zwischenräumen, je grösser der Widerstand der Wasserkapillaren.[2])

Wählt man Zuleitungen von geringerem Widerstande, so folgen die Funken rascher auf einander ohne Aenderung des Aussehens, wenn nicht die Folge so rasch ist, dass sich das Gas erhitzt. Erhöht man die Kapazität der Elektroden durch Anhängen von Leydener Flaschen, so wird die Funkenfolge langsamer, dagegen erscheinen die Funken selbst dicker und glänzender, ganz wie bei Anwendung einer Elektrisirmaschine.

Warren de la Rue und H. Müller[3]) erhielten beim Einschalten hinreichend grosser Widerstände ($4 \cdot 10^6$ Ohm.) in den Schliessungskreis ihrer Batterie von 8040 Chlorsilberelementen helle knatternde Funken wie von einer Elektrisirmaschine, welche im Stande waren Papier zu durchschlagen.

Nach Knoch[4]) besteht jeder Funke aus zwei Theilen. „Es kommt zugleich ein Funke aus dem Leiter und einer aus dem Knöchel und dem Auslader, wenn man diesen gebraucht . . . . Beide vereinigen sich mit einander. Geben Sie besonders im Dunkeln auf die Farben des aus dem Leiter gezogenen Funkens Acht! Es findet sich allemal eine Stelle darin, welche violett, ins Kupferfarbige übergehend erscheint, das Uebrige hat die gewöhnliche Feuerfarbe.

1) Riess, Pogg. Ann. **137**, 451, 1869.
2) O. L., Wied Ann. **47**, 435, 1892.
3) Warren de la Rue und H. Müller, C. R. **85**, 791, 1877.
4) Knoch, Gilbert's Ann. **24**, 108, 1806.

An der Stelle, wo jenes Violett erscheint, vereinigen sich die aus dem Leiter und dem Auslader hervorspringenden Funken. Diese Stelle findet sich nicht immer an einem und demselben Ort. Bald zeigte sich dies Violett in der Mitte, bald dem Leiter, bald der Hand oder dem Auslader näher."

Johnson[1]) nannte diese dunkle Stelle, mit welcher sich auch Faraday[2]) näher beschäftigte, die „neutrale Stelle". Es ist anscheinend dieselbe Stelle, an welcher bei der gewöhnlichen Entladung das positive und negative Büschellicht zusammentreffen (Fig. 8 Taf. III).

Ist bei der gewöhnlichen Entladung der Influenzmaschine die positive Elektrode abgeleitet, so geht von derselben ein kurzer, heller Stiel aus (entsprechend dem Stiel des positiven Büschels); auf diesen folgt (wie bei jenem) ein schwach leuchtender Raum, dann wieder ein heller Lichtfaden, der sich in der Nähe der negativen Elektrode (und zwar anscheinend dort, wo der positive Büschel aufhören würde) keulenartig verdickt und abbricht. Der keulenartigen Verdickung steht eine andere gegenüber, welche das Ende des von der negativen Elektrode ausgehenden Stiels bildet. Zwischen beiden befindet sich die lichtschwache „neutrale" Stelle. Bei sehr starken Funken zeichnet sich diese zuweilen durch eine Knickung aus.[3]) Bei der Ableitung der negativen Elektrode ist der von der positiven ausgehende Lichtfaden gleichförmiger und da, wo derselbe früher unterbrochen war, zeigt sich nur eine etwas schwächer, röthlich leuchtende Stelle, im Uebrigen ist die Erscheinung die gleiche wie bei Ableitung der positiven Elektrode.

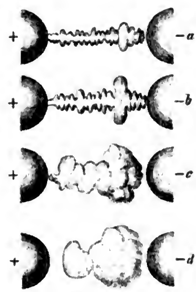


Fig. 141.

Töpler (1868) beobachtete die durch die Funken hervorgebrachten Störungen in der Gasmasse mit Hülfe seines bekannten Schlierenapparates.[4]) Im ersten Momente erschien der Funkenkanal eng von einem Mantel sehr verdichteter Luft umschlossen. Dieser breitete sich dann sehr rasch, eine Schallwelle bildend, im umgebenden Raum aus. Während dessen blieb das Bild des Funkenkanals, offenbar in Folge der starken Erhitzung der dort befindlichen Luft, noch bestehen, erlitt aber nach und nach Veränderungen, wie sie in Fig. 141a, b, c, d dargestellt sind. Es zeigen sich eigenthümliche Protuberanzen, welche sich nur auf Intermittenzen im Funken zurückführen lassen. Besonders

1) Johnson, Sill. Journ. 25, 57, 1834.
2) Faraday, Experimentaluntersuchungen S. 445, § 1559 und S. 467, § 1632.
3) Antolik, Pogg. Ann. 154, 14, 1875; O. L., Wied. Ann. 11, 698, 1880.
4) E. Mach und J. v. Weltrubsky (1878) untersuchten die Funkenwellen statt mittelst des Schlierenapparates mit dem Jamin'schen Interferentialrefraktor. Mach (1878) hat dann auch noch die weitere Ausbreitung der Wellen im Raume studirt.

auffallend ist die relativ stark hervorragende Luftwolke in der Nähe der negativen Elektrode, welche der dort befindlichen dunklen Stelle im Funken entspricht.

Steht einer negativen Kugel eine grosse abgeleitete positive Platte gegenüber, so sind umgekehrt die Funken an dem negativen Ende kontinuirlich und zeigen in der Nähe der Platte eine grössere Intermittenz (Fig. 142). Hält man bei diesem Versuch die Platte schief, so dass ihr Rand der kugelförmigen Elektrode nahe ist, so steht der von dieser ausgehende Stiel immer noch senkrecht auf derselben, geht aber nicht direkt nach dem Rande der Scheibe, sondern knickt da, wo der dunkle Raum entstehen sollte, plötzlich in scharfem Winkel um und verfolgt jetzt erst die Richtung gegen die Scheibe zu (Fig. 143).

Eine ähnliche Knickung beobachtete ich zwischen spitzen Elektroden. Es trat zunächst Streifenentladung auf, welche bereits diese Knickung zeigte,[1]) sei es wegen des von der Spitze ausgehenden Windes, oder weil die Oberflächenbeschaffenheit der Elektrode zufällig an einem seitlichen Punkte die Entladung am leichtesten gestattete. Beim Ableiten der negativen Elektrode trat Funkenentladung ein, welche genau dieselbe Knickung zeigte (Fig. 144).


Fig. 142.


Fig. 143.


Fig. 144.

Schaltet man Sammelapparate in die Leitung ein, so wird der Funke bekanntlich immer intensiver und nimmt die blitzartige Zickzackform an, wenigstens wenn die Elektroden weit von einander abstehen.

Nach **Tait**[2]), welcher Photographien von Funken herstellte, beseitigt Erwärmung der Luft die Bestandtheile derselben, welche die eckige Gestalt der Funken bedingen.

Im luftverdünnten Raume des elektrischen Eies verschwinden ebenfalls die Ausbiegungen des Funkens, derselbe wird immer mehr geradlinig, verliert aber gleichzeitig an Glanz, namentlich in der Mitte, wo seine Farbe allmählich in schwach leuchtendes Rosa übergeht. Der Funkenkanal bildet nicht mehr eine feine Lichtlinie, sondern ist in der Mitte sehr ausgedehnt.

Funken in Geissler'schen Röhren beobachtete zuerst **Plücker**.[3]) Er erhielt sie bei Einwirkung des Magneten auf eine Röhre, in welche die Elektroden enthaltenden Kapillarröhren bis auf 4—5 cm gegenseitigen Abstand hineinragten. „In dem Falle des Zinnchloriddampfes ist das Licht in den Kapillarröhren schön gelb, das diffuse Licht in der weiten Röhre blau. Indem der Magnet dieses blaue Licht bei äquatorialer Lage herabzieht oder nach oben abstösst, bei achsialer Lage von den beiden Oeffnungen aus nach entgegengesetzter

1) Der Funke richtet sich in seinem Verlaufe gewöhnlich nach dem Verlaufe kurz vorangegangener Büschelentladungen.

2) Tait, Phil. Trans. **17** (3), 425, 1878.

3) Plücker, Pogg. Ann. **113**, 272, 1861.

Seite horizontal fortdrängt, treten, von den Oeffnungen ausgehend, fortwährend goldgelbe Blitze auf, von denen das Auge gleichzeitig immer mehrere sieht. In manchen Fällen erfolgen solche Blitze auch ohne magnetische Einwirkung."

In späteren Abhandlungen ist von Funken im Vakuum nicht mehr die Rede. Es scheint, dass man angenommen hat, in verdünntem Gase könne die Entladung nur in der Form stattfinden, wie man sie gewöhnlich in Geissler'schen Röhren beobachtet.[1])

Nur Hittorf (1874) hat anscheinend die Funken beobachtet, ohne sie aber ausdrücklich als solche zu bezeichnen. Er verband die an eine grosse galvanische Batterie angeschlossenen Elektroden mit den Belegen eines Kondensators und schaltete gleichzeitig als Widerstand eine Flüssigkeitssäule ein.

„Bestehen Kondensator und Batterie aus einer grösseren Zahl von Stanniolblättern und Elementen, so ist das Licht, welches jede Entladung in der Gassäule erzeugt, nicht mehr dasjenige der Glimmentladung, sondern hat das Aussehen, welches durch die Leydener Flasche allbekannt ist. Die Schichtung, der dunkle Raum und das negative Glimmlicht fehlen; eine zusammenhängende Lichtmasse füllt den Zwischenraum der Elektroden ganz aus und endigt auf der Kathode in einzelnen, hellen Metallfünkchen.

In dem Maasse, als die Verkürzung der Widerstandssäule nur einem immer kleiner werdenden Bruchtheile der Ladung des Kondensators Zeit zur Entladung durch das verdünnte Gas lässt, erscheint das charakteristische Licht der Glimmentladung in demselben wieder. Dies gilt natürlich auch für Grenzfall, wo das Licht stetig geworden ist. Der Kondensator entladet sich nun nicht mehr, sondern bleibt mit der Spannungsdifferenz der Elektroden des leuchtenden Gases geladen, ganz wie wenn er zwischen den Enden eines metallischen Stromleiters läge."

Verschiedene Abbildungen der von mir selbst im Vakuum beobachteten (z. Th. geschichteten) Funkenerscheinungen sind in den Figg. 3 S. 7 und 5—8 Taf. I gegeben und bereits oben besprochen.

Von besonderem Interesse erscheint es, dass bei den Funken der dunkle Kathodenraum zuweilen anscheinend vollständig fehlt, ja dass sie sich bei geringem Abstand der Elektroden vollständig in dem Raume entwickeln können, der sonst von dem dunkeln Kathodenraum eingenommen wird. Die Figuren 145—147 (aus O. L., Z. f. phys. Chem. 18, 110, 1895) zeigen einige Beispiele.

Bei zwei etwa 2 mm von einander entfernten Platten von 3 cm Durchmesser (Fig. 145), welche mit einem eng anschliessenden Becherglas bedeckt waren und sich in einer grösseren Flasche befanden, welche soweit evakuirt war, dass bei Abwesenheit des Becherglases um die obere als Kathode dienende Platte ein 15—20 mm dicker dunkler Raum sich gebildet hätte, entstand, wenn die obere Platte Kathode war, ein hellweisser Funke zwischen den beiden Platten am Rande, welcher nach unten sich in eine dem Glase dicht anliegende

---

1) Vgl. die Literaturzusammenstellung in G. Wiedemann, Elektrizität.

weisse Lichtmasse verbreiterte. Der Funke befand sich also vollständig in dem Raume, in welchem keine Glimmentladung eintreten kann.

Bei der in Fig. 146 dargestellten Anordnung, bei welcher die obere Platte weggelassen war und die untere als Kathode diente, zog sich der Funke von dem positiven Drahtende oben an der Grenze des dunkeln Kathodenraumes der mit ihm alternirenden Glimmentladung nach einem Punkte der Unterseite der Kathode innerhalb des dunkeln Raumes. Der von diesem Punkte ausgehende Kupferdampf färbte die Glimmlichthülle ausserhalb des dunkeln Raumes, wie durch dunklere Schattirung angedeutet ist, grün.

Auch in Geissler'schen Röhren lassen sich beim Anschalten grosser Kondensatoren Funken erhalten, doch sind die meisten Röhren zu dem Versuche nicht zu gebrauchen, da die Elektroden viel zu schwach sind, um die erforder-

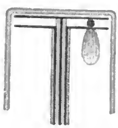


Fig. 145.



Fig. 146.

lichen grossen Stromstärken auszuhalten. Am besten eignen sich solche, welche dem Stromdurchgang an sich einen grossen Widerstand bieten in Folge davon, dass die Kathode bis zur Spitze mit Glas umhüllt ist; ferner auch solche, in denen das Gas bis zum Auftreten des grünen Phosphoreszenzlichtes verdünnt ist.



Fig. 147.

Dass in letzteren, namentlich bei geringer Kathodenoberfläche, die Entladung selbst bei Anwendung von Batteriestrom intermittirend ist, kann man öfters schon an dem Tönen oder Klirren (bei Anwesenheit loser Theile) erkennen, welches der Durchgang des Stromes verursacht. Bei diesen erzeugt die Anschaltung eines Kondensators schon bei sehr geringer Stromstärke und Kapazität die pulsirende Funkenentladung.

Am auffallendsten gestalteten sich die Erscheinungen bei einem nur 5 mm weiten Rohr von 4,3 m Länge, welches allerdings nicht mehr durch die Akkumulatorenbatterie gespeist werden konnte, sondern Anwendung der Hochdruckinfluenzmaschine erforderte. Die Elektroden derselben waren durch nasse Schnüre mit einer grossen Flaschenbatterie von ca. 0,01 Mikrofarad Kapazität in Verbindung gebracht, und die Elektroden des Rohres ohne nennenswerthe Widerstände mit letzterer verbunden. Man sah zunächst an den Elektroden Licht

auftreten, welches sich immer weiter gegen die Mitte zu erstreckte, bis schliesslich eine kontinuirliche Lichtsäule beide Elektroden verband. Obschon dieser Strom scheinbar kontinuirlich war, so trat doch nach einiger Zeit plötzlich eine glänzende Entladung der Batterie durch das Rohr hindurch ein, und nun wiederholte sich die Entwicklung der Lichterscheinungen von Anfang an.

In diesem Falle dürfte die Ladungszeit des Kondensators auf die Grösse der Intervalle zwischen den einzelnen Funkenentladungen von Einfluss gewesen sein.

Bei Anwendung eines Induktionsapparates, Einschaltung von Leydener Flaschen, Wasserröhren und Funkenstrecken erhielt ich an der negativen (Platin-) Elektrode bei mikroskopischer Distanz einen ausserordentlich grossen hellblauen Metalldampfbüschel (Fig. 147),[1]) während sich an der Anode nur ein gewöhnlicher positiver Büschel zeigte.

Durch Vorschaltung kleiner Funkenstrecken an Anode oder Kathode kann man leicht auch andere Arten von Uebergangsformen zwischen der reinen Gasentladung und der Funkenentladung erhalten, wie dies bereits auf Seite 16 erwähnt und in den Figg. 1—4 Taf. III und 8—11 Taf. IV für einige Fälle näher dargestellt ist.

Werden die Elektroden, z. B. Quecksilberelektroden in mikroskopischer Distanz in Luft von gewöhnlicher Dichte einander sehr genähert, so dass sich die Metalldampfbüschel berühren, so verdicken sie sich an jener Stelle und leuchten daselbst noch intensiver (Taf. II Fig. 20α). Häufig besteht jene hellleuchtende Schicht aus zwei durch einen dunkeln Raum von einander getrennten (Fig. 20β) oder gar aus vier kreuzweise angeordneten (Fig. 20γ).

Auch in etwas längeren Funken beobachtete ich unter dem Mikroskop ähnliche eigenthümliche Intermittenzen. Es ist nämlich die Funkenbahn oft von zahlreichen dunkeln Stellen schief gegen die Achse durchschnitten (Taf. II Fig. 4). Die Grenzen dieser dunkeln Stellen sind sehr scharf im Vergleich zu denen des eigentlichen Funkens, und ihre Anzahl ist am grössten an der besprochenen Intermittenzstelle an der negativen Elektrode.[2])

Nach Matthiessen[3]) sind die stärkeren 6—8 cm langen geradlinigen Funken einer Influenzmaschine von einem dunkeln Kanal durchzogen, welcher beim Betrachten durch farbige Gläser deutlich hervortritt und sich auch auf Photographien erkennen lässt.

Auch Rood beobachtete in photographischen Abbildungen des Batteriefunkens eigenthümliche Unterbrechungen desselben; ebenso Pflaum.[4])

Schott[5]) konstatirte zahlreiche dunkle Unterbrechungen bei einem in einer Kapillarröhre sich bildenden Funken.

---

1) O. L., Wied. Ann. **11**, 700, 1880.
2) O. L., Wied. Ann. **11**, 699, 1880.
3) Matthiessen, Zeitschr. f. phys. und chem. Unterr. **3**, 293, 1890.
4) Rood, Sill. J. (2) **38**, 361; Pflaum, phys. Kleinigkeiten, II, S. 3, 1897.
5) Schott, Wied. Ann. **59**, 769, 1896.

Alle diese Erscheinungen weisen darauf hin, dass auch die Funkenentladung keine einheitliche Lichterscheinung ist, sondern wie die gewöhnliche Entladung, trotz ihrer kurzen Dauer sich aus mehreren zeitlich aufeinander folgenden Vorgängen zusammensetzt.

Auch im Funkenkanal verbreiteter Metalldampf mag öfters Störungen der Funkenbahn bewirken.[1])

John Trowbridge[2]) konnte mittelst des Drehspiegels und photographischer Aufnahmen beobachten, wie gelegentlich Stücke des geschmolzenen und verdampfenden Elektrodenmaterials, die losgerissen waren, $3 \cdot 10^{-5}$ Sekunden lang sich freischwebend in der Funkenstrecke halten konnten.[3])

v. Hübl und v. Obermayer konnten die Bildung des Metalldampfes bei Funkenentladungen photographisch fixiren, indem sie einen Luftstrom auf den Funken leiteten und denselben photographisch auf Eosinsilberkollodiumplatten aufnahmen. Es trennte sich vom Funken ein Streifen rothglühender Metalltheilchen.[4]) Aehnliches beobachtete ich selbst bei Entladungen der Hochdruckinfluenzmaschine zwischen nadelförmigen Elektroden.

Richtete man einen Strom heisser Luft auf die Nadel, so wurde der dort sich bildende Metalldampf in Form einer langen gelblichen Flamme weggeblasen, ähnlich wie die sogenannte Lichthülle bei Induktionsfunken, während die Funken selbst ungeändert blieben.

Beim Zerstäuben von Drähten durch Kondensatorentladungen tritt nach Righi[5]) zunächst Verflüchtigung ein und sodann Entladung in dem gebildeten heissen Metalldampf.[6])

v. Obermayer[7]) photographirte die Zerstäubung von Eisendrähten durch den Entladungsschlag einer Leydener Batterie. Dabei zeigte sich, dass die Zerstäubung von einzelnen Explosionszentren ausgeht.

33. Die Dauer des Funkens.

Unserer Vorstellung über das Wesen der Entladung gemäss ist auch ein einzelner Funke nicht als ein einfacher kurz dauernder Strom aufzufassen, ebensowenig als ein kurzer Pfiff eine kurz dauernde Luftströmung ist. So wie es in der Natur des Schalles liegt, dass die Lufttheilchen hin- und hergehende Be-

1) Vgl. auch Riess, Reibungselektrizität II, 120. 1853.
2) John Trowbridge. Sill. Journ. (3) **46**. 195, 1893.
3) Vgl. Ebert-Wiedemann, Wied. Ann. **49**, 15, 1893.
4) v. Hübl und v. Obermayer, Wien. Ber. (2) **98**, 419, 1890.
5) Righi, Rend. Acc. Lincei, **4**, 444, 1888.
6) Vgl. ferner über die Zerstäubung von Drähten Hartleey, Proc. Dublin Soc. 1889, 363.
7) v. Obermayer, Jahrb. f. Photogr. **1893**, 177.

wegungen machen und auch ein sehr kurz dauernder Schall nothwendig aus mehreren aufeinander folgenden Luftstössen besteht, so ist auch die kürzeste Funkenentladung noch als eine Reihe von Einzelentladungen aufzufassen und es werden auf dieselbe im Prinzip dieselben Sätze anwendbar sein, wie auf die scheinbar kontinuirliche Glimmentladung, insbesondere was Elektrodenspannung und Entladungswärme und deren Verhältniss zur entladenen Elektrizitätsmenge anbelangt.

Dies hat sich auch thatsächlich sowohl bei älteren Versuchen wie auch bei neueren von Paalzow und Neesen[1]), welchen es gelang die bei einer einzelnen[2]) Entladung entwickelte Wärmemenge zu messen, bestätigt.

Versuche über die Dauer des Funkens hat bereits Wheatstone[3]) mittelst des Drehspiegels ausgeführt.

Bei Einschaltung eines Kupferdrahts von $^1/_{19}$ engl. Zoll Durchmesser und einer halben englischen Meile Länge fand sich die Dauer des Funkens = $^1/_{24000}$ Sekunde. Sehr viel grösser war sie bei Anwendung einer Magnetinduktionsmaschine, dagegen kleiner als ein Milliontel Sekunde bei Anwendung sehr hoch gespannter Elektrizität.

Feddersen[4]) fand, dass sich der Entladungsfunke einer Leydener Batterie bei Einschaltung eines grösseren Widerstandes aus zahlreichen Partialentladungen zusammensetzt, welche sich in einem gegebenen Falle in einem Zeitabstand von 0,00006 Sekunden folgten. Diese Partialentladungen sind nicht die oben gemeinten Einzelentladungen, sondern Gruppen von solchen. Ihr Auftreten ist, wie weiter unten besprochen wird, eine Wirkung der Selbstinduktion.

Nach P. Riess[5]) stehen in Folge des Nachglühens von Metalldampf die Entladungszeit eines Kondensators und die Leuchtdauer des Entladungsfunkens in keinem festen Verhältniss zu einander, so dass man aus der Dauer der beobachteten Funkenerscheinung im Allgemeinen zu grosse Werthe für die Entladungsdauer erhält.[6])

Die kurze Dauer des Funkens ist auch ersichtlich aus einem Versuche von Töpler[7]), welcher einen Luftstrom von 784 ccm pro Sekunde durch den Schlagraum gehen liess. Der Funke erschien ganz wie bei ruhender Luft und genau als kürzeste gerade Verbindungslinie der Entladerkugeln.

---

1) Paalzow und Neesen, Wied. Ann. **56**, 276, 1895.

2) d. h. einer ununterbrochenen Serie von Partialentladungen von sehr kurzer Dauer, wobei der Zustand des Gases sich nicht erheblich ändern konnte.

3) Wheatstone, L'Institut 1833, S. 261 und Pogg. Ann. **34**, 476. Vgl. ferner Dove, Pogg. Ann. **56**, 274, 1842 und W. Weber, Pogg. Ann. **73**, 216, 1848.

4) Feddersen, Pogg. Ann. **103**, 77, 1858.

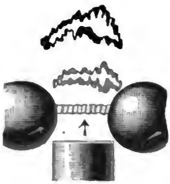
5) P. Riess, Pogg. Ann. **149**, 485, 1873.

6) Ueber die Abhängigkeit der Entladungsdauer einer Batterie von Kapazität, Spannung, Widerstand und Funkenquerschnitt (in Uebereinstimmung mit früheren Versuchen von Lucas und Cazin und Feddersen) siehe Riess, Wied. Ann. **11**, 176, 1880 und Cardani, Beibl. **9**, 189 und 470, 1884.

7) Töpler, Pogg. Ann. **134**, 204, 1868.

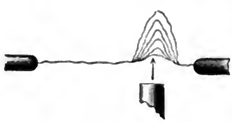
Die erhitzten Luftmassen der vorangehenden Funken erschienen, im Schlierenapparate beobachtet, wie Fig. 148 zeigt, als bogenförmige Schlieren in der Richtung des Luftstroms in die Höhe geschoben.

Wurde die Geschwindigkeit des Luftstroms gemässigt, so „konnte es vorkommen, dass die aufwärts geblasene heisse Luft des vorhergehenden Funkens noch oberhalb zwischen den Elektroden sich befand und dem nächsten Funken als mehr oder minder gekrümmte Brücke diente.“ Hierbei tritt wahrscheinlich in der erhitzten Luftmasse zuerst (ähnlich wie wenn sie aus Metall bestände) Influenz ein, ebenso wie bei den früher besprochenen Versuchen mit elektrodenlosen Vakuumröhren.


Fig. 148.

Hierdurch erklärt sich ein hübscher Versuch von Fernet. Derselbe stellt zwei Messingstäbe neben einander auf, so dass ihr Abstand oben etwas grösser ist als unten, und lässt zwischen ihnen Induktionsfunken überspringen. Die Funken springen dann zuerst unten über, dann immer höher, bis sie unterbrochen werden und von unten wieder anfangen. Liegen die Stäbe horizontal, so tritt die durch das Aufsteigen der durch den Funken erwärmten Luft bedingte Erscheinung nicht ein.[1]

Einige ähnliche Erscheinungen habe ich selbst beobachtet.[2] Auf die langen Funken einer Hochdruckinfluenzmaschine wurde ein kräftiger Luftstrahl aus einem mit Luft von 5—8 Atm. gefüllten Windkessel kommend gerichtet. Derselbe hatte zunächst keinen Einfluss. Wurde nun aber in die Leitung eine feuchte Schnur oder eine Drahtspirale mit wohl isolirten Windungen (blanker Messingdraht in einem mit Mineralöl gefüllten grossen Steinguttrog) eingeschaltet, so nahmen die Funken eine mehr röthliche Farbe an und wurden an der vom Luftstrom getroffenen Stelle ausgebogen. Im ersten Fall trat eine flammenartige Verbreiterung ein, im anderen eine Zertheilung in viele, in regelmässigen Abständen einander folgende Lichtstreifen (Fig. 149), indem offenbar die ursprünglich einfache Entladung durch die Selbstinduktion in der Spirale in eine grössere Zahl in regelmässigen Intervallen aufeinander folgende Partialentladungen zerlegt wurde.


Fig 149.

Ein Lichtbogen mit hochgespanntem Wechselstrom, mittelst eines durch Wechselstrom gespeisten Ruhmkorff'schen Funkeninduktors erzeugt, löst sich beim Durchblasen stark komprimirter Luft in ein prachtvolles Netzwerk von Funken auf.

1) Ueber ähnliche Versuche bei Leitungsblitzableitern siehe Görges, Elektrot. Zeitschr. **18**, 214, 1897 und Töpler, Pogg. Ann. **131**, 188, 1867.

2) O. L., Wied. Ann. **44**, 647, 1891.

Ein gewöhnlicher Lichtbogen bei Spannungen von 70—300 Volt, zwischen Kohlenspitzen in dem Luftstrom eines Orgelgebläses oder in dem Gasstrom einer Leuchtgasflamme erzeugt, verursacht ein starkes pfeifendes Geräusch, welches ebenfalls durch Auflösung in Partialentladungen bedingt ist. Dieselbe Wirkung erzeugt (in Folge des später zu besprechenden magnetischen Windes) die Annäherung eines Magneten.

Ausser den Schlieren, welche der erhitzten Luft entsprechen, zeigten sich bei den Versuchen Töplers im Gesichtsfelde des Schlierenapparates noch scharfe, fortschreitende Wellen (Schallwellen), welche durch die plötzliche Verdichtung der angrenzenden Luft entstehen. Taf. V Fig. 5 zeigt beispielsweise eine durch die Wärme eines zwischen zwei hintereinander stehenden kugelförmigen Konduktoren übergesprungenen elektrischen Funkens erregte Luftwelle, welche unten auf eine äusserst dünne Kollodiummembran aufstösst und zum Theil reflektirt wird, zum Theil durch die Membran in das darunter befindliche Gas (Wasserstoff) hinein sich fortsetzt. Taf. V Fig. 7 zeigt dieselbe Erscheinung an der Grenze von Luft und Kohlensäure, Taf. V Fig. 6 die Reflexion mehrerer nach einander entstandener Wellen an der Oberfläche einer festen Platte.

Mach und Gruss[1]) verbesserten die Methode, nachdem Mach schon früher[2]) mittelst berusster Platten den Verlauf der Wellen studirt hatte. Später wurde an Stelle des Schlierenapparates von Mach und Weltrubsky[3]) der Jamin'sche Interferentialrefraktor verwendet. Es ergab sich für einen schwachen Funken eine Verdichtung von 15 %, bei stärkeren eine noch beträchtlich grössere.[4])

Man könnte hieraus auch einen Schluss auf die mittlere Temperatur des von der Entladung durchsetzten Gases ziehen (vgl. S. 131) und hieraus unter Berücksichtigung der Stromarbeit und der spezifischen Wärme des Gases auf die Dauer der Entladung.

34. Der Lichtbogen.

Wird die Erhöhung der Stromstärke bei verhältnissmässig niedriger Spannung durch Ausschalten von Widerständen erzielt, so tritt mit dem Auftreten von Metalldampf an der Oberfläche der Elektroden (in Folge der Temperaturzunahme) plötzlich eine bedeutende Zunahme der Stromstärke ein, z. B. bei Verwendung des oben beschriebenen grossen elektrischen Eis von 0,1 auf 3 Amp., während gleichzeitig die Spannung von 1500 auf 500 Volt sinkt.

1) Mach und Gruss, Wien. Akad. Ber. LXXVIII, 1878.

2) Mach, Pogg. Ann. **156**, 416, 1875 und Wien. Akad. Ber. **77**, 1878.

3) Mach und Weltrubsky, Wien. Akad. Ber. **78**, 1878.

4) Nach Töpler und Boltzmann ergiebt sich für eine Orgelpfeife im Knoten nur eine Dichtigkeitszunahme von 1 %. Vgl. auch Raps, Wied. Ann. **50**, 193, 1893.

Die Ausgangsstellen der Entladung an den Elektroden schrumpfen auf hellleuchtende Punkte zusammen und die Entladung bildet eine Art bogenförmiger Flamme, den sog. elektrischen Lichtbogen, weil die leuchtende Gasmasse in Folge ihrer hohen Temperatur in die Höhe steigt.

Sind die Elektrodenflächen genügend gross, so kann der Unterschied von Stromstärke und Spannung vor und nach dem Umschlag der Entladung geringfügig sein.

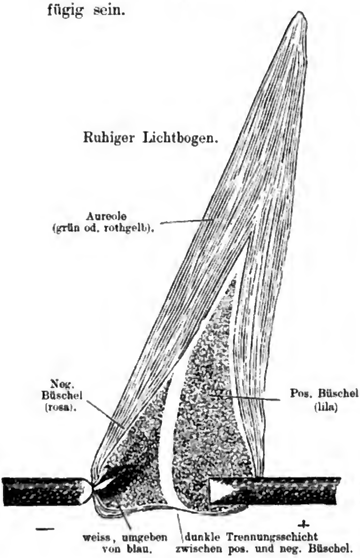


Fig. 150a.

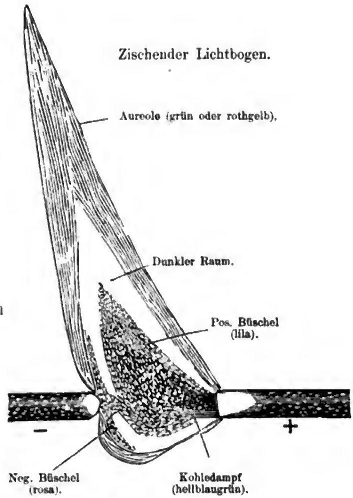


Fig. 150b.

In Luft von gewöhnlicher Dichte besteht der Lichtbogen scheinbar aus zwei gegeneinander brennenden und sich zu einer Spitze vereinigenden Flammen (Fig. 150a u. b[1]), was besonders deutlich hervortritt, wenn die beiden Elektroden nicht in gleicher Linie liegen, so dass die beiden Flammen seitlich aneinander vorbeigehen (Fig. 150c). In verdünnter Luft nähert sich die Form mehr einem kontinuirlich gekrümmten Bogen und im Vakuum ist die bogenförmige Ausbiegung kaum mehr zu bemerken, da die Steigkraft im Verhältniss zur Reibung und zur Abkühlungsgeschwindigkeit zu klein ist.

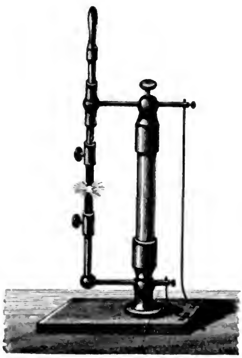
1) Die Fig. 150a stellt einen „ruhigen", Fig. 150b einen „zischenden" Lichtbogen zwischen Kohlenspitzen von 4 mm Durchmesser bei einer Spannung von ca. 120 Volt dar.

Am einfachsten ist die Lichtbogenentladung zu erhalten zwischen den Schliessungsdrähten einer galvanischen Säule.

Bald nach Bekanntwerden der Volta'schen Säule im Jahre 1800 beobachtete Davy,[1]) dass die Oeffnungsfunken der Säule besonders hell erscheinen, wenn man sie zwischen zwei Stücken gut gebrannter Holzkohle überspringen lässt. Aehnliche Beobachtungen wurden bald darauf noch mehrfach von Andern gemacht.[2]) Im Jahre 1808 gelang es Davy durch eine Subskription bei Privatleuten die Mittel zur Herstellung einer Batterie von 2000 Kupfer-Zink-Zellen zu erhalten, mittelst der die Herstellung einer dauernden Flamme in Bogenform von grosser Helligkeit zwischen horizontalen Kohlenstäben ermöglicht wurde.



Fig. 150c.


Fig. 151.

Kann man über 40 bis 50 Bunsen'sche oder Grove'sche Elemente von entsprechender Grösse verfügen, so kann man die Kohlenspitzen, wenn sie glühend geworden sind, bis auf 5 mm von einander entfernen, und erhält dann zwischen ihnen einen Lichtbogen von blendender Helligkeit; indessen kann man auch mit 18 bis 20 guten Bunsen'schen Elementen schon schönes Kohlenlicht erhalten, wenn man auf die positive Kohle von Zeit zu Zeit ein Körnchen Glaubersalz legt. Gespitzte Drähte, die man mit Lampenruss überzieht, zeigen beim Schliessen der Kette ebenfalls ein lebhaftes Licht.

Man kann auch, wie Daniell entdeckte, die Kohlen sogleich in die erforderliche Stellung bringen und dann durch sie eine Leydener Flasche ent-

1) Davy, Nicholsons Journal 1800, Okt.

2) Siehe S. P. Thompson, Zeitschr. f. Elektrochemie II, 525, 1896 und John Cuthbertson, Practical Elektricity and Galvanism S. 260 und letzte Seite.

laden, worauf sofort der Strom eintritt.[1]) Ein geeignetes Stativ für diesen Versuch zeigt Fig. 151. Bei demselben sind die Kohlen in federnde metallene Röhren eingesetzt, wovon die obere an einem Stiele sich befindet, der sich in einer federnden Hülse leicht auf- und abschieben lässt. Das Mittelstück der Säule ist von Glas. (Aus Frick, Phys. Technik.)

Zur Demonstration des Lichtbogens im Grossen verwendet man den Strom einer Dynamomaschine oder einer Batterie von Akkumulatoren oder galvanischen Elementen. Man projizirt die Kohlenspitzen zunächst in gewöhnlicher Weise auf einen Schirm und löscht nach dem Erglühen derselben die Projektionslaterne aus.

Als Kohlenspitzen verwendet man cylindrische Kohlenstücke von etwa 1 cm Durchmesser und mindestens 6 cm Länge, die man einerseits zuspitzt; sie werden entweder aus sogenannter „Retortenkohle“ oder aus einer ähnlichen Masse wie die Kohlen in Bunsen'schen Elementen verfertigt. In gewöhnlichen Bogenlampen dient als positive Kohle eine Kohle mit lockerem und mit Salzen (z. B. Wasserglas) imprägnirten Kern, sog. „Dochtkohle“, während die negative Kohle homogen ist. Es hat dies den Zweck, zu veranlassen, dass der Lichtbogen immer von der Spitze der positiven Kohle seinen Ausgang nimmt und ein gleichmässiges Abtrennen der Kohle stattfindet.

Die Kohle giebt nach Hittorf[2]) deshalb das günstigste Material für die Bildung des Lichtbogens, weil sie die Wärme sehr schlecht leitet. Alle Metalle, selbst Iridium, geben bei 1 mm Druck keine Bogenentladung, sondern nur Glimmentladung.[3]) „Es erzeugt sich auf der negativen Kohle eine stark weissglühende, fast punktförmige Stelle, auf welche kein dunkler Raum folgt, sondern welche durch positives Licht mit der Anode verbunden ist .... Die Kohle verdampft an der heissen punktförmigen Stelle der Kathode und es zeigt sich hier das Swan'sche Spektrum. Wird die Dichte der Gase unter 1 mm erniedrigt, so wird auch für die Kohleelektrode die Bogenentladung unmöglich und Glimmlicht bedeckt die Kathode. Ebenso tritt letzteres bei grösseren Gasdichten auf, wenn durch Einschaltung von Widerständen die Zuführung von Energie durch Strom so geschwächt wird, dass jene weissglühende Stelle nicht bestehen kann.“

Moigno beobachtete, dass bei Entstehung des Lichtbogens zunächst an der negativen Elektrode ein weisser Lichtfleck auftritt und nun erst allmählich die positive Elektrode erglüht.

Dass die Verflüchtigung der Kohle, welche in diesen Fällen an Stelle der Metalldampfbildung tritt, trotz der Schwerflüchtigkeit der Kohle sehr erheblich ist, geht daraus hervor, dass gewissermaassen ein Ueberdestilliren der Kohle[4])

---

1) Der Kunstgriff, die Entladung durch einen Funken einzuleiten, rührt nach Sturgeon von Sir Herschel her (vgl. Pogg. Ann. **49**, 122, 1840).

2) Hittorf, Wied. Ann. **21**, 118, 1884.

3) d. h. bei Anwendung der von Hittorf benutzten Stromquelle.

4) Ueber ein ähnliches Ueberdestilliren von Platin im Vakuum siehe R. W. Wood, Physical Review **5**, July 1897.

von der heisseren positiven zur kälteren negativen Spitze möglich ist. Anfänglich hielt man dies für eine Zerstäubung der Kohle durch elektrische Kräfte. So schreibt z. B. De la Rive:[1]) „Die Kohle verdankt ihrer Molekularbeschaffenheit, welche sie so zerreiblich macht, die Eigenschaft, eine derjenigen Substanzen zu sein, welche den längsten Lichtbogen liefern.“[2])

Zu dieser Ansicht wurde er geführt durch eine frühere Mittheilung von Fizeau und Foucault[3]), welche auf die eigenthümliche Veränderung der vom positiven zum negativen Pole übergeführten Kohle aufmerksam machten. „Diese Kohle ist weich schreibend und ihre Oberfläche gerieben wird bleiern, metallisch grau, vollständig dem Graphit ähnlich. Diese Umänderung geschieht sehr rasch und erfolgt auch bei andern (als den benutzten Anthracitkohlen) leitenden Kohlen. Man braucht nur den Lichtbogen über die Oberfläche einer der Kohlenpole hinwegzuführen und diese Oberfläche ist augenblicklich mit einer Graphitschicht bedeckt.“

Bei einer Spitze von Koaks und einer Platte von Platin im Vakuum bestand nach den Beobachtungen von De la Rive der Lichtbogen aus einer Menge Lichtbüschel, die von verschiedenen Punkten der Platte aus divergirten und nach verschiedenen Theilen der Koaksspitze zielten.

Die Ablagerung der fortgeführten Substanz bildet auf der Platte, wenn sie negativ und die Spitze positiv ist, eine Art von sehr regelmässigem Ring, dessen Mittelpunkt die Projektion der Spitze auf der Platte ist. Dies findet sowohl bei vertikaler als bei horizontaler Lage der Platte statt und zeigt also deutlich eine bestimmte Richtung in der Fortführung der Substanz von der positiven zur negativen Elektrode.“

Plücker[4]) sagt: „Die Ueberführung der Materie der Elektroden im Lichtbogen von einer derselben zur andern, ist seit Davy Gegenstand vieler Untersuchungen gewesen. Die allgemeine Annahme war, dass diese Ueberführung von der positiven zur negativen Elektrode statthabe. H. v. Breda wies aber nach, dass dieselbe gleichzeitig auch den umgekehrten Weg von der negativen zur positiven Elektrode nahm. In den Geissler'schen Röhren gehen die Metalltheilchen lediglich von der negativen Elektrode aus, ohne zur positiven zu gelangen. Hier scheinen Anomalien obzuwalten, denen ähnlich, die sich auf das Auftreten der Wärme an den beiden Elektroden beziehen.“

---

1) De la Rive. Pogg. Ann. **76**, 279, 1849.

2) Bei dem zischenden Lichtbogen Fig. 150b beobachtet man allerdings häufig ein scheinbares Abstossen von Kohlepartikelchen von der positiven Kohle. Letztere verdampft sehr rasch, etwa so, dass sie in jeder Sekunde um 0,5 mm kürzer wird. Dabei nimmt die Oberfläche nicht ganz gleichmässig ab, sondern es widerstehen zuweilen einzelne Körnchen der Verdampfung länger, werden schliesslich in Folge der Verdampfung der Umgebung frei und fliegen durch den Dampfstrom mitgerissen erst (der Expansion des Dampfes entsprechend) etwas zur Seite, dann gegen die Kathode und schliesslich der Luftströmung folgend in der Richtung der Flamme nach oben.

3) Fizeau und Foucault, Pogg. Ann. **63**, 476, 1844.

4) Plücker, Pogg. Ann. **105**, 70, 1858.

Schon Despretz[1]) erkannte aber, dass in Wirklichkeit der Kohlenstoff an der Anode in Dampf verwandelt wird und sich an der Kathode wieder kondensirt. Deutlicher geht dies hervor aus Versuchen von M. Blondel, welcher den Bogen photographirte und dadurch feststellte, dass ausschliesslich eine Ueberführung von Kohle in der Richtung von der Anode zur Kathode stattfindet, ferner aus Versuchen von Kapitän Abney, welcher fand, dass die weissglühende Oberfläche des leuchtenden Kraters immer die gleiche Helligkeit besitzt. Aus letzteren Versuchen folgt nämlich nach S. P. Thompson, dass diese Fläche immer dieselbe Temperatur besitzt, was sich nur durch die Verdampfung der Kohle[2]) erklären lässt, insofern durch den Verbrauch an latenter Wärme verhindert wird, dass die Temperatur über die Verdampfungstemperatur steigt.

S. P. Thompson[3]) hält es auch für möglich, dass zunächst eine Verflüssigung eintritt und die latente Schmelzwärme die Konstanz der Temperatur bedinge, da im Jahre 1850 Despretz gefunden hatte, dass die Kohle unmittelbar, bevor sie sich verflüchtigt, ganz weich wird.

Aus eigenen Versuchen[4]) schliesse ich, dass beim gewöhnlichen ruhigen Lichtbogen keine Verdampfung der Kohlenspitzen im Sinne der Bildung eines reinen Dampfstroms stattfindet, sondern nur eine langsame Verdunstung und Oxydation des Dampfes durch die beigemischte sauerstoffhaltige Luft.

Hiervon kann man sich leicht überzeugen, wenn man ein dünnes etwa 20 cm langes, 2 mm dickes Kohlenstäbchen, dessen Fassungen zur Vermeidung von Spannungen auf Quecksilber schwimmen, durch einen Strom von etwa 60—70 Amp. bei 150 Volt Spannung zu intensivem Weissglühen bringt. Dasselbe strahlt ein äusserst blendendes Licht aus, zum mindesten ebenso hell wie das der Kohlenspitzen im Lichtbogen, verdampft aber nicht. Es wird schliesslich, anscheinend in Folge von Umwandlung in eine andere Modifikation, bei bestimmter Temperatur plötzlich breiartig weich, biegt sich vermöge seines Gewichts durch und reisst ab, ohne an Dicke wesentlich abgenommen zu haben, was bei einer starken Verdampfung nicht möglich wäre.[5])

---

1) Despretz, C. R. **28**, 757, 1849; **29**, 48, 709, 1849.

2) Vgl. auch Elihu Thomson, Electrical World **17**, 166, 1891.

3) S. P. Thompson, Zeitschrift für Elektrochemie II, 548, 1896. Vgl. auch W. Borchers, Zeitschrift für Elektrochemie III, 393, 1897.

4) O. L., Wied. Ann. **55**, 367, 1895.

5) Bei dem Lichtbogen Fig. 150 beobachtete ich, dass die negative Kohle auf 14 cm Länge verhältnissmässig rasch immer dünner wurde. Nach einigen Versuchen war der Durchmesser auf etwa die Hälfte vermindert. Der Durchmesser der positiven Kohle blieb während dessen ganz konstant, nur die Länge derselben verminderte sich, während umgekehrt die Länge der negativen Kohle nur wenig abnahm.

Vermuthlich beruht die Dickenabnahme der negativen Kohle auf einer oberflächlichen Verbrennung, begünstigt durch eine längs der Elektrode sich hinziehende Luftströmung (elektrischer Wind?), die auch durch die aus der Figur ersichtliche Neigung der Flamme nach der Anode hin zum Ausdruck kommt.

Anders verhält sich die Sache nach meiner Ansicht beim zischenden Lichtbogen (Fig. 150b), bei welchem die Stromstärke etwas grösser, die Spannung etwas geringer als beim ruhigen ist. Die gleiche Stromwärme, welche vorher auf das lange Stäbchen vertheilt war, ist nun auf ein sehr kleines Gebiet beschränkt, die Temperatur steigt also sehr viel höher, auch kann der kleine erweichende Theil einer Spitze nicht heruntersinken. Man sieht dann von der positiven Elektrode, welche bekanntlich höhere Temperatur annimmt als die negative, eine hell grünlichblaue rauschende Flamme innerhalb der Aureole aufsteigen, welche, abgesehen von der Form, völlig dem weissblauen Lichtkegel eines Bunsen'schen Brenners bei starker Luftzufuhr gleicht. An der Grenze dieser Flamme findet offenbar Verbrennung von Kohlenstoffdampf zu Kohlenoxyd statt und die gekräuselte in lebhaftester Bewegung befindliche Oberfläche der Flamme lässt erkennen, dass die Entwicklung des Dampfes nicht ganz stetig erfolgt, sondern ab und zu wieder plötzliche Kondensation eintritt, so dass aus denselben Gründen wie bei einer rauschenden Glasflamme nothwendig das zischende Geräusch entstehen muss, welches unter diesen Umständen stets gehört wird.

Verwendet man Ströme von mehreren hundert Ampère Stärke[1]) bei möglichst geringer Spannung, d. h. möglich geringem Abstand der Kohlenspitzen, so findet ein fortwährendes Sublimiren des Kohlenstoffs von der heissen Anode auf die kältere Kathode statt, erstere wird immer kürzer, letztere länger.

Eingehende Versuche über die Sublimation des Kohlenstoffs im Lichtbogen hat Moissan[2]) bei seinem „elektrischen Ofen" ausgeführt.

Während bei dem ruhig brennenden Lichtbogen bei gewöhnlichen Bogenlampen die negative Kohle sich fein zuspitzt, bildet sich beim zischenden Bogen an derselben ein sog. „Pilz". Die Lichtsäule zieht sich auf einen engen Fleck zusammen, welcher sich tiefer in die Kohle eingräbt, also einen tieferen Krater erzeugt als beim ruhigen Bogen.

Nach Frau Ayrton hat die Krateroberfläche des zischenden Bogens das Aussehen von Honigwaben (vermuthlich wegen der auftretenden Schwingungen).

A. de la Rive[3]) schloss aus Versuchen mit Platin- und Kupferelektroden im Magnetfelde, dass Zischen nur eintritt, wenn die positive Elektrode bis zum Schmelzen erhitzt wird, dass also das Zischen das Resultat eines leichten und fortwährenden Transports mehr oder weniger flüssiger Materie von der positiven Elektrode aus sei.[4])

---

1) Ich benutzte dazu zwei parallel geschaltete, durch Brand beschädigte und in der Werkstätte des Physikalischen Instituts zu diesem Zwecke umgebaute Dynamomaschinen für acht Pferdekräfte, in Serie mit drei Akkumulatoren für 1000 Amp. normalen Entladestrom.

2) Moissan, C. R. **116**, 1429, 1893, Arch. chim. phys. (7) **8**, 466 und Le four electrique, Steinheil, Paris 1897.

3) A. de la Rive, Pogg. Ann. **76**, 283, 1849.

4) Ueber den zischenden Lichtbogen vergl. ferner: Cross und Shepard, Prov. American Acad. 1886, 227; Niaudet, La Lumière Elektrique III, 287; Luggin, Elektri-

S. P. Thompson[1]) vergleicht das Zischen dem Singen von kochendem Wasser. Richtiger dürfte es wohl dem Rauschen von Gasflammen oder von Büschelentladungen zu vergleichen sein, da der Ton vermuthlich auf plötzlicher Ausdehnung oder Zusammenziehung des Gases (Bildung und Kondensation von Kohledampf) beruht. Das scheinbare Hinauswerfen fester Partikelchen aus der positiven Kohle beim zischenden Lichtbogen ist vielleicht in manchen Fällen die Folge der Kondensation des Kohledampfs. (Vgl. S. 245 Anmerkung.)

Ueber den Einfluss von fremden Beimischungen zur Kohle machte zuerst Casselmann[2]) Mittheilungen. „Werden zwei Kohlenspitzen, vorher in verschiedenen Lösungen, z. B. salpetersauren Strontian, Borsäure u. s. w. eingetaucht, stark geglüht, so zeigt sich nach vorgängiger Berührung ein sehr ruhiger, je nach der angewandten Substanz verschieden gefärbter Lichtbogen, der selbst bei einer Entfernung von 7 bis 8 mm nicht erlischt und von keinem bemerkbaren Geräusch begleitet ist.“

Augenscheinlich begünstigen also, wie zu erwarten, die durch Zersetzung der beigemischten Salze sich bildenden Metalldämpfe die Entstehung des Lichtbogens.

Dass umgekehrt Beseitigung derselben die Lichtbogenbildung erschwert, kann man z. B. erkennen, wenn man durch den von einer Hochspannungsakkumulatoren-Batterie unter Einschaltung grosser Widerstände erzeugten Lichtbogen einen kräftigen Luftstrom leitet. Derselbe verwandelt sich in einen rauschenden Funkenstrom, welcher genau so aussieht, wie der Funkenstrom einer Influenzmaschine unter gleichen Verhältnissen. (Vgl. auch S. 240.)

Ebenso erklärt sich die Beobachtung von Tommasi[3]), dass zwischen gekühlten Kupferelektroden der Lichtbogen sehr leicht erlischt.

Nach Zuchristian[4]) gelingt es bei Anwendung der üblichen niedrigen Spannung nicht, zwischen metallischen Elektroden einen Wechselstromlichtbogen zu erhalten, jedenfalls weil die Wärme durch die metallischen Elektroden zu rasch fortgeleitet wird.

Nach Wurtz[5]) entsteht zwischen Messingelektroden der Lichtbogen nur sehr schwer. Cadmium, Magnesium geben keinen Bogen, letzteres selbst nicht bei Steigerung der Spannung bis 250 Volt. Erst über dieser Spannung kommt der Bogen zu Stande. Wismuth und Kupferamalgam sind ebenfalls der Bildung des Bogens hinderlich.[6])

---

cian **26**, 565; Spencer, Electrical Review **33**, 496; Andrews, Journ. Soc. Telegr. Engineers **9**, 201; Cravath, Electrical World **19**, 195.

1) S. P. Thompson, Zeitschr. f. Elektrochemie II, S. 549, 1896.

2) Casselmann, Pogg. Ann. **63**, 576, 1844.

3) Tommasi, C. R. 716, 1881.

4) Zuchristian, Wien. Ber. **102**, 567, 1893.

5) Wurtz, Lum. il. **45**, 79, 1892.

6) Vgl. ferner Arons, Wied. Ann. **58**, 79, 1896.

Im Vakuum erzeugte den Lichtbogen bereits Davy 1810, da die von ihm gebrauchten Holzkohlestäbchen bei der angewandten mächtigen Kupfer-Zink-Batterie von 2000 Elementen (untergebracht in 200 Porzellanträgen) in Luft von gewöhnlicher Dichte zu rasch verbrannten. Das Aussehen desselben unterscheidet sich von dem der Gasentladung (Taf. IV Fig. 9) im Allgemeinen nur dadurch, dass er nicht an positivem und negativem Glimmlicht, sondern an hellen Punkten endigt (Taf. IV Fig. 8).

Er kann übrigens (meinen Beobachtungen[1]) zufolge) bei genügend ausgedehnten kalten Elektrodenflächen, z. B. bei Anwendung massiver messingener Halbkugeln von 6 cm Durchmesser, in Formen übergehen (Taf. IV Fig. 10 u. 11), welche nur auf der einen (entweder positiven oder negativen Seite) einen Metalldampfbüschel haben, auf der anderen Seite dagegen ausgedehntes Glimmlicht, welches nur das Gasspektrum zeigt. Diese Formen können als Uebergangsformen zur Gasentladung bezeichnet werden und thatsächlich entsteht zuweilen plötzlich aus dem Lichtbogen eine der Uebergangsformen oder reine Gasentladung, indem die Metalldampfbüschel vollständig verschwinden und nur das Gasglimmlicht übrig bleibt (vgl. auch Figg. 1—4 Taf. III, Text Seite 16).

Nach Warren de la Rue und H. Müller[2]) können Gasentladung und Bogenentladung lediglich durch Aenderung der Gasdichte ineinander übergehen. Dies ist, wie oben dargelegt wurde und wie von F. Stenger[3]) eingehend bewiesen wurde, nicht in dem Sinne, dass auch der Lichtbogen lediglich als eine Entladung im reinen Gase zu betrachten wäre, möglich, vielmehr ist durchaus Metall- bezw. Kohledampfentwicklung an den Elektroden nothwendig, um den Uebergang der Gasentladung in Lichtbogen zu bewirken.

Im Uebrigen giebt es auch nach Stenger[4]) „kein unbedingt sicheres Kennzeichen dafür, ob man eine gegebene Entladung als Glimmentladung oder Bogenentladung anzusehen hat, sondern es existirt zwischen den so sehr verschiedenen typischen Fällen beider Formen ein stetiger Uebergang."

Nach den Beobachtungen von Gassiot (1863) geht die durch eine starke Batterie hervorgebrachte Gasentladung nach einiger Zeit von selbst in den Davy'schen Lichtbogen über, bei welchem die Unterschiede von positivem und negativem Licht, sowie der dunkle Raum verschwinden und eine zusammenhängende Lichtmasse beide Elektroden verbindet.

Hittorf (1874) wiederholte den Versuch mit einer Batterie von 400 Chromsäureelementen in Luft von gewöhnlicher Dichte. Als Elektroden dienten eine Stahlspitze und eine Stahlplatte.

---

1) O. L., Wied. Ann. **55**, 370, 1895.

2) Warren de la Rue und H. Müller, Phil. Trans. **171**, 65, 1879.

3) Vgl. auch Goldstein, Fortschr. d. Physik, 1880, 858; F. Stenger, Wied. Ann. **25**, 47, 1885.

4) Stenger, Wied. Ann. **25**, 31, 1885.

„Der erste Funke scheint stets eine Glimmentladung zu sein. In den meisten Fällen geht dieselbe so rasch in Bogenentladung über, dass sich die Beschaffenheit nicht feststellen lässt.

Sehr gut gelingt dies aber, wenn die Elektroden 3—4 mm dicke Platindrähte sind und einander so genähert werden, dass zwischen dem Ende der Kathode und einer Stelle der Anode, welche vom Ende entfernt liegt, die leuchtende Entladung erfolgt. Dieselbe berührt letztere nur in einer kleinen Fläche und breitet sich zu einer den Querschnitt des negativen Drahtes bedeckenden Scheibe von Glimmlicht aus. Dauert dieses Licht nur kurze Zeit, so bringt es das Ende der Kathode zum Glühen und Schmelzen, während die Anode sich wenig erhitzt."

Nach dem Erlöschen des Lichtbogens kann die Temperatur des Gases noch genügend hoch, d. h. die Dichte genügend gering sein, um noch bei derselben Spannung für kurze Zeit Glimmentladung zu unterhalten. Stenger bemerkt diesbezüglich:

„Verlängerte ich bei einem Drucke von 10 mm den Bogen . . . bis der Widerstand sich bis zum Erlöschen desselben steigerte, so trat unmittelbar vorher an der Anode eine etwa 1 mm dicke, 10 mm lange Schicht blauen Glimmlichtes auf, das nach wenigen Sekunden mit dem Licht zwischen den Kohlen verschwand. Während also der Widerstand zu gross wurde, als dass die Bogenentladung fortbestehen konnte, reichte das Leitungsvermögen der noch glühenden Metalldämpfe noch kurze Zeit hin, einen weit schwächeren Strom unter Glimmlichterscheinung zu ermöglichen."

Nach E. L. Nichols[1]) setzen die Einzelentladungen beim Wechselstromlichtbogen nicht allmählich, sondern plötzlich mit voller Stärke ein, wie sich auf photographischem Wege auf fortschreitender Platte nachweisen lässt.

In den von mir selbst beobachteten, in den Figg. 134 Nr. 6, 8, 9, 10 S. 217 und weiter unten dargestellten Fällen befindet sich die verdünnte Luft in dem Rezipienten in verhältnissmässig rascher Strömung, so dass es auffällig erscheint, dass die grossen Metalldampfbüschel sich dennoch völlig ungestört entwickeln konnten.

Unter Annahme einer gewöhnlichen Diffusion des Metalldampfs in die Luft wäre auch wohl eine Erklärung kaum möglich, selbst unter Berücksichtigung der ausserordentlich gesteigerten molekularen Geschwindigkeit in Folge der starken Erhitzung.

Vermuthlich sind, da der gebildete Metalldampf unserer Annahme zufolge Ionen (S. 110) enthält, in ähnlicher Weise wie bei der „elektrischen Diffusion" elektrische Kräfte thätig, derart, dass die positiven Ionen mit grosser Kraft von der Anode fortgestossen werden und ebenso die negativen von der Kathode, während die entgegengesetzt elektrischen angezogen und entladen werden.

1) E. L. Nichols, Beibl. **15**, 661, 1891.

Ein Maass für die Diffusionsgeschwindigkeit würde man erhalten können durch Vergleich der Ausdehnung der Metalldampfbüschel, wenn die Diffusionsrichtung mit der Strömungsrichtung des Gases übereinstimmt und wenn sie entgegengesetzt ist. Beispielsweise war bei einem Potentialgefälle von etwa 4000 Volt pro Meter die Ausdehnung des negativen Eisendampfbüschels[1]) bei Anwendung von Eisenelektroden etwa die sechsfache, wenn die Richtung der Gasströmung, deren Geschwindigkeit vielleicht 0,1 m pro Sekunde betrug, übereinstimmend mit derjenigen der Diffusion war, woraus sich eine Diffusionsgeschwindigkeit des Eisendampfes von 0,14 m pro Sekunde ergeben würde (bei einem Luftdruck von etwa 4 mm und einer Temperatur von etwa 1000°). Die Geschwindigkeit der gewöhnlichen Diffusion dürfte bedeutend geringer sein, doch fehlen dafür die Anhaltspunkte.

Auch die schiefe Richtung der von den Elektroden ausgehenden, die Aureole bildenden Flammen (Fig. 150c) weist darauf hin, dass die Lichtbogenentladung von einer Art elektrischem Wind begleitet ist. Da sich bei Umkehrung des Stromes die Neigung der beiden Flammen nicht merklich ändert, kann nicht etwa der Erdmagnetismus die Ursache derselben sein.

Die Ausdehnung des positiven und diejenige des negativen Metalldampfbüschels sind im Allgemeinen nicht gleich gross, was nicht nur in Verschiedenheit der Temperatur begründet sein dürfte, denn die Unterschiede sind viel beträchtlicher als die Temperaturunterschiede, sondern in verschiedener elektrischer Ladung der diffundirenden Dämpfe oder Ionen. Der positive Metalldampfbüschel ist relativ sehr gross gegenüber dem negativen bei Magnesium und Natrium, gerade umgekehrt sehr klein bei Eisen und Kupfer.[2])

Auf die Bildung von Ionen scheint auch der eigenthümliche Geruch des Lichtbogens[3]) hinzuweisen, welcher nach Dewar dadurch bedingt ist, dass sich nicht allein Kohlensäure und Kohlenoxyd bilden, sondern auch Blausäure, Cyan, salpetrige Säure und andere Verbindungen, chemische Prozesse, welche nicht in der hohen Temperatur allein ihre Erklärung finden dürften.

35. Die Elektrodenspannung (Anodengefälle).

Versuche, die Schlagweite bei gegebener Entladungsspannung zu bestimmen, hat bereits Nicholson[4]) ausgeführt. Er berechnete auf Grund der Kon-

1) O. L., Wied. Ann. 55, 369, 1895.

2) Es liegt nahe anzunehmen, diese Verschiedenheiten ständen in Zusammenhang mit den Verschiedenheiten der Lösungstension nach Nernst, insofern der osmotische Druck von Magnesiumionen $= 10^{44}$ Atm., derjenige von Kupferionen $= 10^{-19}$ Atm. angenommen werden muss.

3) S. P. Thompson, Zeitschr. f. Elektrochemie II, 573, 1896.

4) Nicholson, Gilberts Ann. 7, 199, 1801.

densatorladungen und der mit dem Goldblattelektroskop bestimmten Spannung die Funkenlänge seiner Volta'schen Säule zu $^1/_{75000}$ Zoll.

van Breda[1]) konnte die zugespitzten Polenden einer 60 paarigen Grove-schen Säule auf $^1/_{200}$ Millimeter unter dem Mikroskop nähern, ohne dass ein Lichtbogen entstand.

Nachdem man erkannt hatte, dass kein prinzipieller Unterschied zwischen der galvanischen und der Reibungselektrizität besteht, somit das zum Eintritt der Funkenentladung erforderliche Potentialgefälle dasselbe sein muss wie das zur Bildung des Lichtbogens erforderliche, hatten weitere Versuche in dieser Richtung kein Interesse.

Wichtiger erschien es, die Grösse der zur Unterhaltung des einmal eingeleiteten Lichtbogens erforderlichen Spannung zu bestimmen, welche ebenso wie bei der reinen Gasentladung kleiner ist als die zum Eintritt der Entladung erforderliche.

Während bei der Gasentladung, bei welcher keine Metalldampfbildung stattfindet, wie oben S. 3 angedeutet, ein starker Abfall des Potentials in der Nähe der Kathode in Folge der dort angehäuften positiven Gasionen, das „Kathodengefälle" vorhanden ist, bedingt die Entstehung des Metalldampfs beim Lichtbogen umgekehrt das Auftreten eines starken Potentialabfalls an der Anode, und somit auch starker Temperaturerhöhung daselbst, wie schon aus der besprochenen starken Verdampfung der Anode zu schliessen ist.

Im Uebrigen gilt für die Elektrodenspannung dasselbe, was für die Gasentladung gesagt wurde, dieselbe entspricht nicht dem Ohm'schen Gesetz, d. h. ist weder der Länge des Lichtbogens noch der Stromstärke einfach proportional.

Es lässt sich ein derartiges einfaches Gesetz auch schon aus dem Grunde nicht erwarten, weil der Querschnitt des Entladungsgebietes und die Beschaffenheit des darin enthaltenen Gases, sowie die Wärmeleitung und Strahlung mit Länge des Bogens und Stromstärke sich stark verändern werden.

Die Spannungsdifferenz e zwischen den Kohlenspitzen bei Erzeugung eines Lichtbogens in gewöhnlicher Luft bestimmt sich demnach, wenn l die Länge des Lichtbogens in Millimetern bedeutet, durch eine empirische Formel:

$$e = m + n \cdot l \text{ Volt},$$

wobei ungefähr $m = 40$ und $n = 2$ gesetzt werden kann. Die Werthe m, n sind nicht völlig konstant, sondern von der Beschaffenheit der Kohlen und von der Stromstärke in hohem Maasse abhängig, selbstverständlich auch davon, ob die Luft ruhig oder bewegt ist und so die Anhäufung des Kohlendampfes zwischen den Elektroden erleichtert oder erschwert wird.

Bei gewöhnlichen Gleichstrombogenlampen ist die Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden 45 Volt, bei Wechselstromlampen 28 Volt. Dem ent-

1) van Breda, Pogg. Ann. **70**, 326, 1846.

sprechend bedürfen letztere zur Erzeugung gleicher Helligkeit grösserer Stromstärke, also stärkerer Zuleitungen.

Das Anodengefälle ist beim ruhigen Bogen ca. 39 Volt bei 45 Volt Gesammtspannungsdifferenz, beim zischenden Bogen (d. h. bei vorherrschendem Kohledampf) nur 13 Volt.[1])

Als Ursache des Anodengefälles betrachtete Wild[2]) eine Art thermoelektrischer Kontaktkraft.

Edlund[3]) nahm dagegen an, dass es sich um eine Gegenkraft handle, welche weder chemischer, noch thermoelektrischer, noch induktiver Natur ist, sondern die zur Losreissung der Kohletheilchen von der Elektrode erforderliche Kraft darstelle. Seinen Untersuchungen zufolge ist die Elektrodenspannung e, wenn l die Länge des Lichtbogens und i die Stromstärke bedeuten.

$$e = (a + b \cdot l)\, i.$$

Ayrton, Perry (1882) und Frölich (1883) setzen dagegen wie oben

$$e = m + n \cdot l.$$

Nach Edlund (1867, 1870 und 1885) wäre $m = 41$ Volt, nach Frölich (1883) $m = 39$, $n = 1{,}8$ Volt, nach Peukert (1885) $m = 35$ Volt, nach von Lang (1885 und 1887) $m = 39$ oder 37 Volt.

Charles Gross und Shepard (1886) fanden die elektromotorische Gegenkraft $m = 39$ Volt bei ruhigem Brennen. Wurde die Temperatur der positiven Kohle durch Einschliessen in einen feuerfesten Thonmantel und durch Anbringen eines die Luftströmungen abhaltenden Schirmes an der Kathode gesteigert, so wuchs die Gegenkraft auf 46,9 Volt. Wurde umgekehrt die obere positive Kohle durch einen von Wasser durchflossenen Hohlcylinder aus Messing gekühlt, so sank sie auf 5,6 Volt.[4])

Während für einen ruhig brennenden Bogen die Gegenkraft 39 Volt betrug, wurde sie beim zischenden = 45 Volt gefunden. (Die Zahlen wurden übrigens nicht durch direkte Messung erhalten, sondern aus dem Widerstande berechnet unter der Annahme, dass in der Formel $r = \frac{e}{i} = a + bl$ a einer elektromotorischen Kraft entspreche.)

B. Nebel (1886) fand, dass die Gegenkraft auch vom Durchmesser der Kohle abhänge. Bei 10 mm —Kohle betrug sie 39 Volt, bei 14 mm —Kohle 31 bis 36 Volt, je nachdem die Stromstärke Werthe von 10 bis 30 Ampère hatte.

Arons (1887) findet die Gegenkraft = 39,6 Volt und den Widerstand = 1,6 Ohm bei einer Stromstärke von ca. 4,1 Ampère.

---

1) S. P. Thompson, Zeitschr. f. Elektrochemie II., 571, 1896.

2) Wild, Pogg. Ann. **111**, 626, 1860.

3) Edlund, Pogg. Ann. **134**, 251, 337, 1868.

4) Ayrton u. Perry, Chem. News **46**, 288, 1882. Ayrton u. Perry, Phil. Mag. (5) **15**, 346, 1883. O. Frölich, Elektrotechn. Z. **4**, 150, 1883. Edlund, Wied. Ann. **26**, 518, 1885. V. v. Lang, Wied. Ann. **26**, 145, 1885; **31**, 384, 1887. Vgl. auch: Niaudet, C. R. **92**, 711, 1881. Jamin, C. R. **92**, 1021, 1881. Slougouinoff, Beibl. **6**, 131, 1882. Jamin u. Maneuvrier, Beibl. **6**, 812, 1882.

Bei Versuchen von Luggin (1887) fand sich für Kohlenstäbe die Spannung $e = 40{,}04 + 0{,}76\,l$ Volt (l = Länge in mm). Wurde das Potentialgefälle im Lichtbogen mittelst eines seitlich eingeführten Kohlenstiftes untersucht, so ergab sich ein starker Sprung in der Nähe der Anode.

Für Metalle ergeben sich (nach v. Lang) Werthe, die eine ähnliche Reihe bilden wie die Schmelzpunkte.

Lecher (1888) glaubt, dass die von Edlund (1867 und 1868) vermuthete Gegenkraft weder beim Funken noch beim Lichtbogen existirt. Allerdings lässt sich, wie bereits Edlund und die genannten anderen Forscher dargethan haben, der Widerstand des Lichtbogens durch einen Ausdruck von der Form $a + bl$ wiedergeben, doch kann a nicht nur als eine elektromotorische Gegenkraft gedeutet werden, sondern auch als eine vom Strome geleistete Arbeit. Ferner ergab sich, dass der Potentialsprung nicht an beiden Elektroden gleich vertheilt ist, sondern dass derselbe in einem speziellen Falle an der heisseren Anode 36, an der kälteren Kathode nur 10 Volt betrug.

Durch eingehende Versuche zeigt auch Lecher (1888), dass die sogenannte elektromotorische Gegenkraft des Lichtbogens mit steigender Temperatur der Elektroden zunimmt. Dickere Elektroden, welche sich weniger stark erwärmen, zeigen deshalb ein kleineres a.

Ist die negative Elektrode Platin oder Eisen, so ist die Entladung stets diskontinuirlich.

Nach Luggin[1]) ist bei einem vertikalen Lichtbogen zwischen Homogenkohlen, Anode oben, das Anodengefälle = 33,7, das Kathodengefälle = 8,78 Volt, bei 15,5 Ampère Stromstärke. Für Dochtkohle hatte Uppenborn 32,5 bezw. 5,5 Volt gefunden.[2])

Fr. Vogel[3]) deutet die sog. Gegenkraft als Dissociationsarbeit.

Nach Schwendler dagegen sollte der konstante Theil der Formel einem Uebergangswiderstand entsprechen, welcher der Stromstärke umgekehrt proportional ist.

Stenger[4]) zeigte experimentell, dass eine Gegenkraft, welche einen Polarisationsstrom hervorrufen könnte, nicht existirt.

Die erwähnten älteren Untersuchungen über die Elektrodenspannung beim Lichtbogen konnten keine genauen Resultate geben, da die Form der Kohlenspitzen nicht genügend berücksichtigt wurde, welche erst nach sehr langem Brennen eine bleibende wird. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes fand Ayrton[5]), dass bei Anwendung von Homogenkohlen von 8 mm Durchmesser

1) Luggin, Wien. Ber. **98**, 1192, 1889.

2) Nebel, Beibl. **11**, 63 u. 109, 1887. Charles Cross und Shepard, ibid. 373. Luggin, Beibl. **12**, 397, 1888. Wild, Beibl. **12**, 829, 1888.

3) Fr. Vogel, Exners Rep. **26**, 54, 1890.

4) Stenger, Wied. Ann. **45**, 33, 1892.

5) Ayrton, Elektrician 1895 I. 319, 335, 364, 399, 471, 541, 596, 610, II. 418, 635, 743; 1896 36, 225, 539.

für verschiedene Bogenlängen von 1—7 mm der Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke der durch die Kurven Fig. 152 ausgedrückte ist.[1]) An derjenigen Stelle, wo die Kurven durch das punktirte Stück, welches nur die Zusammengehörigkeit der beiden Kurventheile andeuten soll, verbunden sind, lässt sich eine bestimmte Beziehung nicht auffinden, da der Bogen unstät ist, d. h. abwechselnd ruhig brennt und zischt, wobei die Spannung ebenso plötzlich zwischen Werthen, welche dem oberen und unteren Kurventheil entsprechen, hin- und hergeht.

Bei einem Lichtbogen von 45 Volt Elektrodenspannung beträgt nach S. P. Thompson[2]) das Kathodengefälle ca. 39 Volt, das Anodengefälle 2 bis

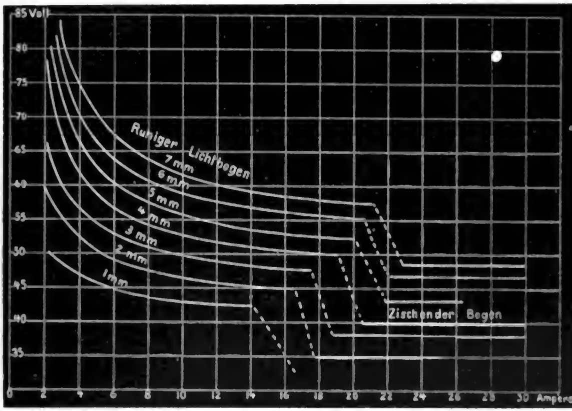


Fig. 152.

3 Volt. Das Anodengefälle 39 Volt entspricht nach seiner Auffassung derjenigen Stromarbeit, welche zur Verdampfung der positiven Kohle aufgewendet werden muss.

Es müsste demgemäss bei Erhöhung des Druckes dieses Potentialgefälle in gleichem Maasse wachsen wie die latente Verdampfungswärme. Thatsächlich lässt sich nach L. Duncan, A. J. Rowland und C. Todd[3]) eine derartige Zunahme der Spannung beobachten.

Auch nach E. Voit[4]) soll die zur Verdampfung der Elektroden nöthige Arbeit die konstante Spannungsdifferenz bedingen.

1) Aus Voit, Der elektrische Lichtbogen, Stuttgart 1896.
2) S. P. Thompson, Zeitschr. f. Elektrochemie II, 571, 1896.
3) L. Duncan, A. J. Rowland und C. Todd, Electrician **31**, 360.
4) E. Voit, Der elektrische Lichtbogen, Stuttgart 1896, S. 42.

Gegen diese Auffassung dürfte sich aber der Einwand geltend machen lassen, dass die Verdampfung nur die Folge der durch die Stromarbeit erzeugten Wärme ist, somit nicht die Ursache der Stromarbeit sein kann.

Im Allgemeinen beträgt die Elektrodenspannung nach S. P. Thompson

$$e = m + \frac{n}{i} \cdot l$$

und nach Frau Ayrton

$$e = \left(\alpha + \frac{\gamma}{i}\right) + \left(\beta + \frac{\delta}{i}\right) l.$$

Die letztere Formel dürfte sich den Beobachtungen am genauesten anpassen.

36. Die Wärmeerzeugung durch Lichtbogen und Funken.

Aus Elektrodenspannung e und Stromstärke i findet sich nach der Formel[1])

$$W = \frac{1}{g \cdot 425} \cdot e \cdot i \text{ Kalorien pro Sekunde}$$

die von dem Lichtbogen pro Sekunde erzeugte Wärmemenge, abgesehen von der durch den Abbrand der Kohlenspitzen entstehenden Wärme. Aus der Menge des pro Sekunde durch den Lichtbogen strömenden Gases und dessen spezifischer Wärme würde sich ferner, eventuell unter Berücksichtigung der zur Verdampfung der Kohle nöthigen Wärmemenge, die Temperatur des Lichtbogens bestimmen lassen. Indess fehlen für eine solche Berechnung die nöthigen Daten.

Ueber die wirkliche Temperatur des Lichtbogens finden sich einige Bemerkungen auf S. 131.

Wie im Falle der Gasentladung lässt sich aus der Ungleichheit des Potentialgefälles an Anode und Kathode auf Ungleichheit der Erwärmung der Elektroden schliessen. Dieselbe wurde bereits von Ritter (1801) beobachtet, sodann von Gassiot[2]), Grove (1840), Walker[3]), Neef[4]) (1845) und A. de la Rive.[5])

Nach Matteucci (1849) ist die Temperaturdifferenz der Reihe nach geringer bei Elektroden aus Eisen, Kupfer, Platin, Blei, Wismuth und Zinn.

---

1) Bei Wechselstromlichtbogen wäre eventuell eine Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung (vgl. Müller-Lehmann, Grundriss der Physik, S. 543) in Betracht zu ziehen. Vgl. hierüber Steinmetz, Elektrotechn. Zeitschr. **13**. 567, 1892 und **14**, 248, 1893.

2) Gassiot, Phil. Mag. 1838, 436, Dez. und Pogg. Ann. **46**, 330, 1839.

3) Walker, Pogg. Ann. **55**, 62, 1842.

4) Neef hatte aus seinen Beobachtungen den Schluss gezogen (Pogg. Ann. **66**, 414; **69**, 141), dass die Elektrizität an der negativen Elektrode wärmeloses Licht, an der positiven lichtlose Wärme errege, was grosses Aufsehen erregte.

5) A. de la Rive, Pogg. Ann. **76**, 279, 1847.

Erzeugt man zwischen zwei dünnen Graphitstiften mittelst einer Hochspannungsakkumulatorenbatterie von ca. 2000 Volt unter Einschaltung der erforderlichen Widerstände zunächst Funkenentladungen[1]) und vermindert dann nach und nach den eingeschalteten Widerstand bis Gasentladung, d. h. blaues negatives Glimmlicht und rothes positives Licht auftritt, so kommt die Kathode zum Glühen, während der positive Pol dunkel bleibt und Glimmen und Büschellicht fast verschwinden.

Schaltet man nun grosse Kondensatoren an die Elektroden an, so verzweigt sich die Entladung in Gasentladung und Funken, welch letztere von der Spitze der Anode ausgehen, neben dem glühenden Theile der Kathode hergehen und an der Grenze desselben endigen (Fig. 153).



Fig. 153.

Bläst man auf die Entladung, so geht die Gasentladung plötzlich in Kohledampfentladung über, wobei umgekehrt die positive Elektrode sich mit Glimmlicht umhüllt und erglüht, während die negative dunkel wird. Wieder überspringen die daneben auftretenden Funken das glühende Metall und die Erscheinung gestaltet sich also wie Fig. 154.

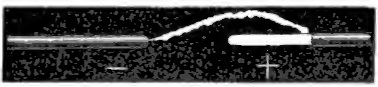


Fig. 154.

Auch nach Aufhören des Luftstromes bleibt die Kohledampfentladung noch kurze Zeit bestehen, geht aber dann wieder in die ursprüngliche Entladungsform über. Dieser rasche Wechsel von Kohledampf- und Gasentladung, welcher sich auch unter anderen Verhältnissen beobachten lässt, zeigt deutlich, dass die Verschiedenheit der positiven und negativen Seite der Entladung nur durch Ursachen bedingt ist, welche durch die Entladung selbst hervorgerufen werden, da eine geringe Luftströmung ausreicht, das *Umkippen des Vorganges aus dem Zustande, in welchem die negative Elektrode erglüht, in den anderen, in welchem die positive erglüht*, herbeizuführen.

Bei Anwendung von Platinelektroden lässt sich die Erscheinung nur schwierig beobachten, da solche zu leicht abschmelzen, dagegen sehr gut bei Graphitstiften. Noch weitere Verminderung des Widerstandes bedingt, dass die

1) O. L., Wied. Ann. 47. 436, 1892.

alternirend auftretenden Funken ganz verschwinden und nur noch die Kohledampfentladung mit glühender Anode übrig bleibt.

Derartige Beobachtungen machte zuerst Gassiot[1]): „Als die Batterieentladung (im Vakuum) etwa zwei Sekunden gedauert hatte, verlor die negative Kugel plötzlich ihre Helligkeit und die positive wurde rothglühend. Im Momente wo die Bogenentladung eintritt, fallen die Blättchen eines angeschlossenen Elektroskops zusammen"

Hittorf (1874) schildert die bei seiner Tauchbatterie von 1600 Elementen bei Einschaltung immer längerer Säulen von Jodkadmiumlösungen auftretenden Erscheinungen in folgenden Worten:

„Die Bogenentladung geht zunächst in die stetige Glimmentladung über. Der Unterschied in der Temperatur der beiden Elektroden ist hier ausserordentlich gross. Beträgt der aufgenommene Widerstand weniger als 50000 S.-E. und bestehen die Elektroden aus 2 mm dicken Platindrähten, so erhitzt das blaue Glimmlicht, welches bei dieser Dichte der Luft kaum $^1/_4$ qmm bedeckt, den negativen Draht zum heftigsten Weissglühen, schmilzt das Ende desselben zu einer dicken Kugel und erhält sie flüssig, während das Ende des positiven Drahtes nur stark roth glüht. Recht auffallend kontrastirt diese ausserordentlich hohe Temperatur der Gasschicht um die Kathode gegen die nicht empfindbare Erwärmung, welche derselbe Strom in den dünnen, ihn leitenden Metalldrähten bewirkt."

Stenger (1885) konnte dadurch, dass er den Lichtbogen im Vakuum erzeugte, nahezu gleiche Wärmeentwicklung an beiden Polen erhalten.

Nach Arons[2]) hängt der Gegensatz zwischen dem Verhalten der Anode und Kathode nur von der Entladungsform, nicht von dem Material der Gasbezw. Dampfstrecke ab.

Bei der Gasentladung bewirkt, wie früher S. 164 gezeigt, das Kathodengefälle, dass sich mit zunehmender Stromstärke das negative Glimmlicht auf der Kathodenoberfläche immer mehr ausdehnt, somit auch der Querschnitt des Entladungsgebietes, während die Stromdichte konstant bleibt. Anders verhält sich dies wegen der Metalldampfbildung bei Funken- und Lichtbogenentladung.[3])

Nach Cardani wächst der Durchmesser (die Dicke) von Funken proportional der Quadratwurzel des Potentials und nimmt nach einer hyperbolischen Funktion mit der Zunahme des Widerstandes ab, wird also für bedeutendere Widerstände konstant.

Der Querschnitt des Lichtbogens ist, wie zuerst J. D. F. Andrews beobachtete, der Stromstärke beinahe genau umgekehrt proportional.[4])

Nach Guglielmo[5]) setzt sich der Widerstand der Funkenstrecken aus einem Ohm'schen Widerstand und einem Uebergangswiderstand zusammen.

1) Gassiot, Pogg. Ann. **119**, 133, 1863.
2) Arons, Wied. Ann. **58**, 79, 1896.
3) Vgl. auch Edlund, Wied. Ann. **28**, 561, 1886, Gegenkraft des Funkens.
4) Siehe S. P. Thompson, Zeitschr. f. Elektrochemie II, 570, 1896.
5) Guglielmo, Atti Accad. Torino **18**, 1883.

Zu gleichem Ergebniss gelangten auch Warren de la Rue und H. Müller[1]) und Foster und Pryson.[2])

Nach Heydweiller[3]) ist der Leitungswiderstand kleiner Funkenstrecken (von einigen Millimetern Länge), wie sich aus der Messung der Dauer von Oszillationen ergiebt, von der Ordnung 10 bis 100 Ohm.[4]) Man darf aber diesen Widerstand nicht im gewöhnlichen Sinne auffassen, auch nicht als Gegenkraft.

John Trowbridge und Richards[5]) finden für den Widerstand Geisslerscher Röhren gegen den Durchgang oscillirender Entladungen Werthe im Betrage von 5 bis 6 Ohm.

Die bei Entladung eines Kondensators in einer Entladung übergehenden Elektrizitätsmengen nehmen nach Heydweiller (l. c.) bei wachsendem Widerstande bis zum Verschwinden ab.

Die Arbeit in der Funkenstrecke ist der Dauer der Entladung nahe proportional und unabhängig von der Stromstärke.[6])

Zur Demonstration der Wärmewirkung der Funken können nach Frick[7]) folgende Versuche dienen:

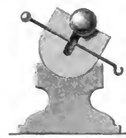


Fig. 155.

Der elektrische Mörser. Man bohrt in ein abgedrehtes Stückchen Buxholz, wie es etwa Fig. 155 in $^1/_3$ der natürlichen Grösse vorstellt, ein Loch, welches oben halbkugelförmig erweitert wird, um eine darein passende kleine Kugel von Elfenbein, Holz, Kork, Hollundermark aufzunehmen, welche lose darin sitzt, aber doch die Oeffnung der Röhre da, wo sie aufsitzt, gut schliesst. Zwei Leitungsdrähte von 2 bis 3 mm Dicke reichen bis in die Höhlung etwa in der Mitte der Länge derselben, und werden mittelst ihrer Ringe in die am einfachen Auslader und dem äusseren Belege befestigte Kette eingeschaltet. Die Kugel wird je nach ihrem Gewichte und der Stärke der elektrischen Ladung sehr lebhaft herausgeschleudert.

1) Warren de la Rue und H. Müller, Proc. Roy. Soc. **35**, 292, 1883 und **36**, 151, 1884.

2) Foster und Pryson, Chem. News **49**, 114, 1884.

3) Heydweiller, Wied. Ann. **43**, 341, 1891.

4) Vgl. auch Miesler, Wien. Ber. **99**, 579, 1890, aus dessen Messungen sich ein noch kleinerer ober Grenzwerth ergiebt.

5) J. Trowbridge und Richards, Phil. Mag. (5) **43**, 349, 1897.

6) Die älteren Untersuchungen über die Entladungswärme, insbesondere diejenigen von Riess findet man zusammengestellt in Riess, Reibungselektrizität und G. Wiedemann, Elektrizität. Es sei noch auf folgende neuere Arbeiten verwiesen:

Paalzow, Pogg. Ann. **127**, 126, 1866. Naccari und Bellati, Beibl. **2**, 720, 1878. Villari, Beibl. **3**, 42, 713, 1879; **4**, 404, 407, 1880. Naccari, Beibl. **6**, 132, 1882 und Giovanni Mugna, Beibl. **6**, 953, 1882. Villari, Beibl. **7**, 784, 1883; **8**, 132, 1884. Naccari und Guglielmo, Bleibl. **8**, 401, 729, 1884. Hurion, Beibl. **9**, 597, 1885. Zomakion, Beibl. **9**, 749, 1885. Naccari und Guglielmo, Beibl. **9**, 541 und 751, 1885. Siehe auch oben S. 131.

7) J. Frick-O. Lehmann, Phys. Technik, Braunschweig 1895, Bd. II, 501.

Papierdurchbohren. Einzelne Kartenblätter werden von sehr schwachen Flaschenfunken durchbrochen. Man legt nur das Kartenblatt an die äussere Belegung und hält die eine Kugel des Ausladers darauf, während man die andere dem Knopfe der Flasche nähert. Sollen mehrere Kartenblätter durchbohrt werden, so stellt man sie bequemer auf den Tisch des Henley'schen Ausladers zwischen dessen beide Kugeln, oder bindet sie vorher zusammen.

Mit Hülfe einer wirksamen Influenzmaschine und einer guten Batterie von Leydener Flaschen kann man selbst sehr dicken Pappdeckel, ja sogar ein ganzes Buch durchschlagen. Die Löcher sind nach beiden Seiten aufgerissen in Folge der heftigen Expansion der erhitzten Luft in den Poren des Papiers.

Bei Holz wird ebenso verfahren, doch ist es zweckmässig, dasselbe auf beiden Seiten zu firnissen.

Ausströmendes Leuchtgas entzündet sich, wenn man den Funken in einiger Entfernung vom Brenner hindurchleitet. Man kann z. B., auf dem Isolirschemel stehend, mit dem Finger eine Gasflamme anzünden, wenn man sich durch einen Gehülfen mit der Elektrisirmaschine elektrisiren lässt.

Im Handel sind sog. elektrische Gasanzünder erhältlich, in deren Griff eine sehr kleine Influenzmaschine verborgen ist. Der kleine durch einige Umdrehungen dieser Maschine erzeugte Funke genügt zum Anzünden einer Gasflamme.

Wickelt man die mit pulverisirtem Kolophonium innig gemengte Baumwolle um den etwas langen Docht einer Wachskerze, so kann diese dadurch entzündet werden, wenn man sie auf das Tischchen zwischen beide Kugeln des Henley'schen Ausladers stellt.

Eine brennende, zwischen den Drähten des Ausladers befindliche Kerze wird durch den Schlag ausgelöscht; eine kurz vor der Entladung gelöschte aber durch einen sehr starken Schlag wieder entzündet.

Um Schiesspulver zu entzünden, kann man das Pulver lose auf das Tischchen des Ausladers schütten und den Schlag hindurchleiten; wendet man in diesem Falle keine nasse Schnur an, so wird das Pulver nur auseinander geworfen.

Um Schiesspulver zum Sprengen zu entzünden, wird in dasselbe eine kleine Patrone gesteckt, in welcher die beiden Drähte nur einen geringen Abstand haben — weniger als 1 mm. — Diese Patrone wird mit der von Varrentrapp angegebenen Mischung aus 1 Schwefelantimon und 2 chlorsaurem Kali gefüllt, der selbst etwas Mehlpulver zugemischt werden kann. Man braucht hierfür nur eine ganz schwache Ladung und kann als Rückleitung selbst den feuchten Erdboden benutzen.

Zum Entzünden von Schiessbaumwolle, Dynamit, Sprenggelatine u. s. w. sind mit Knallquecksilber gefüllte Zünder erforderlich.

Schwefeläther wird in einer flachen Schale oder einem Esslöffel gegen einen abwärts gerichteten Kopf des Konduktors oder gegen einen daran gehängten, etwas dicken, zu zwei Ringen umgebogenen Messingdraht gehalten (Fig. 156).

Um Knallgas zu entzünden, bedient man sich eines metallenen Gefässes, wie Fig. 157 oder auch von der Form einer Kanone. An das Gefäss wird ausserhalb ein kurzes, etwa 5—10 mm weites Röhrchen *tt* gekittet; der Draht, welcher durch das Glasröhrchen geht, wird beiderseits zu einem Ringe umgebogen und erhält innerhalb einen Abstand von ungefähr 1 mm vom Boden des Gefässes.

Imitation von Fulguriten kann man durch starke Entladungen nach Rollmann erhalten, wenn man den Boden eines Trinkglases in der Mitte durchbohrt und einen innen mit dem Boden eben abgeschnittenen Leitungsdraht einkittet; in das Glas werden nun gewaschene Schwefelblumen 30—50 mm hoch eingefüllt und durch Aufstossen des Glases fest gerüttelt. Die Schwefelblumen werden durch eine Glasplatte bedeckt, die den anderen innen ebenfalls eben

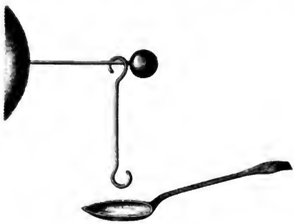


Fig. 156.

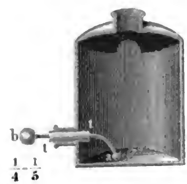


Fig. 157.

abgeschnittenen Zuleiter enthält, der in einem isolirenden Deckel des Glases etwa noch eine Führung erhalten kann. Nach der Entladung kehrt man das Glas um und bringt durch schwache Erschütterung den Schwefel auf Papier, wo man dann mehr oder weniger lange oft verästelte Röhrchen erhält, welche innerhalb Schmelzung zeigen.

Zu annähernder Bestimmung der Entladungswärme kann ein Luftthermometer mit Funkenstrecke im Innern des Gefässes, das sog. Kinnersley'sche Thermometer benutzt werden, doch eignet es sich mehr zu qualitativen als quantitativen Versuchen.

Die Verschiedenheit der Wärmeentwicklung am positiven und negativen Pol kommt in gleicher Weise wie beim Lichtbogen auch beim Funken zum Vorschein, was sich von selbst versteht, da der Funke als ein sehr kurz dauernder Lichtbogen betrachtet werden kann.

So beobachtete bereits Poggendorff[1]), dass die direkten Entladungen der Influenzmaschine am positiven Pol wärmer als am negativen sind, im Gegensatz zu den von Gasentladungen begleiteten Induktionsfunken, welche sich umgekehrt verhalten.

1) Poggendorff, Pogg. Ann. **132**, 115, 1867.

37. Chemische Wirkung von Funken und Lichtbogen.

Sehr zahlreiche Beobachtungen liegen über die Dissoziation zusammengesetzter Gase durch Funkenentladungen vor.

Schon Priestley[1]) hatte die Bildung von Salpetersäure beim Durchschlagen von Funken durch Luft bemerkt, aber erst Cavendish[2]) stellte darüber genaue Versuche an und liess die gebildete Salpetersäure durch Kalilauge absorbiren.

Landolt lässt durch ein kleines, mit Kork verschlossenes Kölbchen, in dessen Bauch an entgegengesetzten Stellen Platindrähte als Elektroden eingeschmolzen sind, die Funken eines Induktionsapparates überspringen. Das Kölbchen wird auf einen Schirm projizirt und man sieht nun sehr deutlich, wie allmählich der gasförmige Inhalt sich in Folge der Bildung von Untersalpetersäure röthlichgelb färbt. Durch einen Luftstrom wird schliesslich dieselbe wieder ausgetrieben. Um zu zeigen, dass Ammoniakgas beim Durchschlagen elektrischer Funken in Folge der Zersetzung sein Volumen verdoppelt, benutzt Landolt ein für Projektion eingerichtetes Eudiometer, welches in Fig. 158 dargestellt ist. In den geschlossenen Schenkel links wird Ammoniakgas gefüllt und das als Absperrflüssigkeit dienende Quecksilber durch den unten angebrachten Hahn so weit abgelassen, dass es in beiden Schenkeln gleich hoch steht. Nach erfolgter Zersetzung wird das Quecksilber abermals auf gleiches Niveau gebracht.



Fig. 158.

Ueber das Verhalten verschiedener zusammengesetzter Gase liegen folgende Beobachtungen vor:

1. Salzsäure. — Sie wird nach den Beobachtungen von Deville im Eudiometer nur in sehr geringem Maasse bis zu einer gewissen Grenze zersetzt. Eine Quantität von 312 ccm ging hierbei auf 290 ccm zusammen und enthielt 13 ccm Wasserstoff. Das Chlor wird vom Quecksilber des Eudiometers absorbirt.

2. Ammoniak wird bei mehrstündigem Durchschlagen von Funken im Eudiometer scheinbar vollständig zersetzt, indem sich das Volumen verdoppelt und das rückständige Gas vom Wasser nicht mehr absorbirt wird. Lässt man aber nach Deville etwas Salzsäure hinzutreten, so bilden sich leichte Salmiaknebel und lässt man nun abermals mehrere Stunden lang die Funken hindurchschlagen, so wird alles Gas nach und nach in Salmiak umgewandelt. Ebenso wird auf diesem Wege ein Gemisch von Stickstoff, Wasserstoff und Salzsäure in Salmiak verwandelt.

1) Priestley, Phil. trans. 1785.

2) Cavendish, Phil. trans. 75, II, 372, 1785; van Marum, Beschreibung einer ungew. grossen Elektrisirmaschine, Erste Forts. S. 36—41 und Gardini, De electrici ignis natura diss. Mantua, 1792.

3. Schweflige Säure. — Durch die Funken des Induktionsapparates wird sehr leicht Zersetzung bewirkt, welche vollständig wird, wenn man das sich bildende Schwefelsäureanhydrid durch Chlorbaryumlösung kontinuirlich beseitigt, andernfalls erreicht die Zersetzung eine (allerdings schwankende) Grenze, wenn die Tension von SO_3 eine gewisse Höhe erreicht hat.

4. Kohlenoxyd. — Nach Deville wird dieses Gas durch Funken im Endiometer nur in geringem Maasse zersetzt, indess vollständig, wenn man über das Quecksilber Kalilauge bringt, welche alle gebildete Kohlensäure rasch absorbirt. Ausserdem ist es nöthig, zeitweise durch Schütteln die dichte Russablagerung an den Elektroden zu beseitigen.

5. Kohlensäure. — Deville beobachtete, dass, nachdem die Funken eines Induktoriums 3 × 24 Stunden lang auf das Gas eingewirkt hatten, dasselbe aus 12,2 O, 24,0 CO und 63,8 CO_2 zusammengesetzt war, also wenigstens theilweise Zerlegung erfahren hatte. Wurde in das Endiometer ein Stück Phosphor gebracht und zeitweise erwärmt, so dass der Sauerstoff absorbirt wurde, so war die Zersetzung bereits nach 24 Stunden vollständig, d. h. es war nur noch CO vorhanden.

Hofmann zeigt, dass 2 Vol. Kohlenoxyd und 1 Vol. Sauerstoff unter Einwirkung des Funkens 2 Vol. Kohlensäure geben in einem kleinen Endiometer von 53 mm Länge und 13 mm Weite, welches auf einen Schirm projizirt wird.

Beim Durchgang durch Sumpfgas erzeugt der elektrische Funke Acetylen und Wasserstoff (Berthelot 1863 und 1870), während sich gleichzeitig Kohle abscheidet. Oelbildendes Gas zerfällt in Kohle und Wasserstoff, schweflige Säure in Schwefel und Schwefelsäureanhydrid, Schwefelwasserstoff in Schwefel und Wasserstoff. Antimonwasserstoff scheidet an der Kathode Antimon, an der Anode einen schmutzig gelben Anflug ab (Böttger 1863), Phosphorwasserstoff zerfällt in Phosphor und Wasserstoff, Cyan in Kohle und Stickstoff, Methylamin scheidet nadelförmige Krystalle von Cyanmethylammonium ab, ähnlich Trimethylamin und Aethylamin u. s. w.

Nach Buttel (1862) kann man die Ozonbildung zur Erzeugung von elektrischen Figuren verwenden. Wenn nämlich zwei stumpfe Platinnadeln gegen eine mit Jodkaliumlösung befeuchtete Papierfläche gerichtet werden und

---

1) Vgl. ferner: v. Klobukow (Aethyläther). Borlinetto, Beibl. **4**, 486, 1880 (Zersetzung von Flüssigkeiten durch Funken). Dehérain und Maquenne, C. R. **93**, 895, 1021, 1881 (Zersetzung von Wasserdampf). Stillingfleet Johnson, Chem. News **48**, 253, 1883 (Stickstoff). Rainy, Proc. Roy Edinb. Soc. 1883/84, 756 (Leuchtgas). Maquenne, C. R. **96**, 63, 1883 (Ameisensäure). Figuier, C. R. **98**, 1575, 1884 (verschiedene Gemenge). Moissan, C. R. **99**, 970, 1884 (Fluorphosphor). Destrem, C. R. **99**, 138, 1884 (Benzol, Toluol, Anilin). Pizzarelli, C. R. **10**, 56, 1886 (Alkohol u. s. w.). Figuier, C. R. **10**, 374, 1886 (Grubengas und Stickstoff). J. J. Thomson und Threfall, Proc. Roy. Soc. **40**, 329, 1886 (Stickstoff). Fabingi, Beibl. **11**, 373, 1887 (Leuchtgas u. s. w.). Cook, Chem. News **58**, 130, 1888 (Stickoxyd mit Wasserstoff). Bachmetjew, Beibl. **14**, 315, 1890 (Ozon). Schützenberger, C. R. III, 14, 1890 (Kohlenoxyd, Stickstoff). v. Lepel, Wied. Ann. **46**, 319, 1892 (Oxydation des Stickstoffs).

man den Strom der Elektrisirmaschine (mit Flaschen) hindurch sendet, so entstehen unter beiden Nadeln in Folge von Jodausscheidung Figuren, bestehend aus einer dunkleren runden Scheibe und einem hellen Saum. Die positive ist mehr strahlenförmig, die negative rund. Die Verschiedenheit verschwindet aber, wenn man die Nadeln bis auf die äusserste Spitze in eine isolirende Hülle einschliesst. (Vgl. auch S. 89.)

J. J. Thomson[1]) (1887) konstatirte, dass auch Jod- und Bromdampf durch den elektrischen Funken zersetzt werden. Bei Jod wurde die Zersetzung nach Aufhören der Entladungen nur sehr langsam rückgängig. Der Druck blieb noch stundenlang grösser. Die Dichtigkeit sank von ca. 133 bis ca. 85 ($H = 1$).

Auf ein Zerfallen der Gase in hoher Temperatur hat man auch aus der Verschiedenheit der Spektra elektrischer Funken schliessen wollen, doch werden diese Folgerungen noch nicht allgemein anerkannt.[2])

Erzeugt man den Lichtbogen zwischen einer Kohlenplatte als Kathode und einem aus einer Legirung gefertigten Stift als Anode, so kondensiren sich die Bestandtheile der Legirung nach de la Rive getrennt auf der Kohlenplatte; falls also die Legirung eine chemische Verbindung war, muss die Verdampfung mit einer Zersetzung verbunden gewesen sein.

Lepsius[3]) leitete durch den Lichtbogen zwischen Kohlenspitzen verschiedene Gase wie schweflige Säure, Wasserstoff und Wasserdampf und erhielt deren Umsetzungsprodukte mit Kohle, nämlich beziehungsweise Kohlenoxyd, Acetylen und Wassergas.

Bereits Quet (1858) machte darauf aufmerksam, dass beim Durchschlagen von Funken durch Leuchtgas nur an den Elektroden Kohle sich abscheidet, nicht aber längs der freien Funkenbahn.[4])

Lässt man den Funken bei mikroskopischer Elektrodendistanz durch Leuchtgas schlagen, so lagert sich zwar auf beiden Elektroden Kohle ab, aber in bestimmter Zeit mehr an der positiven. Dort nimmt die Ablagerung die Form eines Stabes an, der sich in Folge der Schwankungen der Stromintensität knotenförmig ausbildet, an der negativen dagegen den eines massigen Ueberzuges. Die Farbe des Funkens (Taf. II Fig. f α) ist grün und in der Mitte zuweilen rosa. Häufig alternirt derselbe, wenn die Bedingungen günstig sind und das Gas verdünnt wird, mit der Streifenentladung (Taf. II Fig. f β), welche wie gewöhnlich aus röthlichem positivem und bläulichem negativem Licht besteht.

---

1) J. J. Thomson, Proc. Roy. Soc. **42**, 343, 1887.

2) Näheres siehe darüber J. N. Lockyer (Proc. Roy. Soc. **28**, 157, 1878, und Nature **19**, 197, 225, 1879, Ref. Beiblätter 1879, S. 88), H. Ebert (Wied. Ann. 1888, **33**, 155) und Wüllner (ibid. **34**, S. 647).

3) Lepsius, Chem. Ber. **23**, 1637, 1890.

4) Bei Erzeugung des Lichtbogens in Leuchtgas erhielt ich starke Russabscheidung, somit erscheint es nicht ausgeschlossen, dass genügend kräftige Funken sich ebenso verhalten.

Wird statt des Leuchtgases Luft eingelassen, so verschwindet der Kohlenüberzug der Elektroden rasch wieder, und zwar an derjenigen am schnellsten, welche als Kathode dient. Es scheint, dass durch diese Kohlenablagerung das Platin stark angegriffen wird, denn die vor dem Versuche fein zugespitzte Kathode zeigt sich nachher abgestumpft, wie abgeschnitten.[1])

Nach Lüdeking[2]) giebt Kohlenwasserstoff an der Anode einen pferdehaarstarken, harten, gutleitenden Kohlefaden. CCl_4 und $CHCl_3$ zeigen die Bildung dieser Kohlefäden nicht.

Riess beobachtete, dass die durch Oxydation der Elektrodenoberflächen rings um den Ausgangspunkt der Entladung entstehenden Priestley'schen Ringfiguren an Kathode und Anode verschieden sind. Ebenso Peterin.[3])

Perrot (1858 und 1861) liess Funken durch Wasserdampf zwischen zwei in Glasröhren eingeschmolzenen Platindrähten überschlagen, während gleichzeitig der Dampf durch die Glasröhren ausströmte. Derselbe führte auf der einen Seite Wasserstoff, auf der anderen Sauerstoff mit sich, deren Mengen annähernd denjenigen in einem gleichzeitig eingeschalteten Voltameter entsprachen, so dass eine elektrolytische Zersetzung angenommen werden könnte.

Lüdeking[4]) hat die Versuche von Perrot über Elektrolyse des Wasserdampfes wiederholt. Es fand sich ein Ueberschuss von H an der Kathode, von O an der Anode bei einem Versuch 2,6 bezw. 1,7 ccm nach dreistündigen Entladungen eines mit vier Grove getriebenen Ruhmkorff.

Es gelang auch die Zersetzung von trockenem Jodwasserstoff, die Anode bedeckte sich mit Jod, die aus Kupfer bestehende Kathode mit reduzirtem Kupfer.

J. J. Thomson[5]) fand ebenso wie Perrot[6]), dass Wasserdampf durch Entladungen zersetzt wird. Der in der Mitte der Entladungsröhre zugeleitete Wasserdampf theilt sich in zwei an den Elektroden vorbeiströmende Zweige, welche aufgefangen und analysirt wurden. Bei kurzen Entladungsstrecken (1,5 — 4 mm) waren die abgeschiedenen Gasmengen nahe gleich den im Wasservoltameter abgeschiedenen, aber H erschien an der Anode, O an der Kathode. Bei grösseren Funkenstrecken wird bald O bald H an der Kathode abgeschieden. Bei sehr langen Funken erscheint wieder H an der Anode, doch sind die Gasmengen sehr klein.

Wurden O oder H durch einen Lichtbogen geblasen, so luden sie eine isolirte Platte, was auf Anwesenheit von Ionen hinweist; der erstere positiv, der andere negativ.

Aehnliches hatten Elster und Geitel bei Anwendung eines glühenden Platindrahtes statt des Lichtbogens gefunden.

1) O. L., Wied. Ann. **11**, 703, 1880.
2) Lüdeking, Phil. Mag. (5) **33**, 521, 1892.
3) Peterin, Wien. Ber. 62 (2) 679, 1870.
4) Lüdeking, Phil. Mag. (5) **33**, 521, 1892.
5) J. J. Thomson, Proc. Roy. Soc. Lond. **53**, 90, 1893.
6) Perrot, Ann. chim. phys. (3) **61**, 161, 1861.

Nach neueren Versuchen von J. J. Thomson[1]), bei welchen derselbe Funken durch sehr enge Kapillaren durchschlagen liess, trat auch eine Scheidung lediglich gemischter, nicht chemisch verbundener Gase durch den Strom ein.[2]) Liess man in eine Wasserstoff enthaltende Röhre etwas Chlor eintreten, so trat das Chlorspektrum an der Anode auf. Bei Umkehrung des Stromes wurde es zunächst etwas heller, verschwand dann und trat an der anderen Elektrode auf. Durch wiederholte Umkehr des Stromes konnte man es beliebig oft hin- und herschieben. Ebenso Brom. Waren Chlor und Brom gleichzeitig vorhanden, so wanderte das Brom an die Kathode. Natrium und Wasserstoff wanderten in einer mit Luft gefüllten Röhre ebenfalls nach der Kathode.

Nach Richarz[3]) wird in der Dampfhülle um die das Leidenfrost'sche Phänomen zeigenden Elektroden der Dampf des Elektrolyten elektrolysirt.

In Gasgemengen, welche einer Verbrennung fähig sind, z. B. Luft und Benzoldampf, lässt sich eine die Elektrode umgebende Flamme beobachten. In diesem Falle beobachtete ich (1877) um die Elektroden, zwischen welchen Funken mit Lichthülle übergehen, eine grünliche Flamme von der Form, wie sie in der Abbildung Taf. II Fig. 12 dargestellt ist. Das Gas war in langsamer Bewegung begriffen, so dass der Flamme stets neue Nahrung zugeführt wurde.

Ob diese Flamme lediglich durch Wirkung der Hitze in der Nähe der Elektroden entsteht, oder durch eine chemische Wirkung der Entladung, ist nicht entschieden. (O. L., Zeitschr. f. Krystallogr. I, 469, 1877.)

Bekannt ist ferner, dass nicht jeder elektrische Funke im Stande ist, die Explosion eines entzündlichen Gasgemisches zu veranlassen, sondern dass er hierzu eine gewisse Grösse haben, ein gewisses Minimum von Wärme erzeugen muss. Auch in diesem Falle ist es unsicher, ob die Zündung lediglich eine Folge der Temperaturerhöhung oder chemischer Wirkung der Entladung ist.

Nach Herwig[4]) explodirt ein explosibles Gemenge um so leichter, je grösser der Druck, je grösser die Konzentration und je grösser die Elektrizitätsmenge.

Bei eigenen Versuchen über die Zündung von Grubengasluftmischungen (Verhältniss ca. 1 : 9) beobachtete ich Folgendes:

Die Funken eines gewöhnlichen Elektrophors vermochten keine Zündung zu bewirken, diejenigen einer Influenzmaschine ohne Leydener Flaschen erst bei Funkenlängen von über 5 mm. Wurde eine Flasche eingeschaltet, so erfolgte die Zündung bei einer Schlagweite, deren Grösse durch die Kapazität der Flasche bestimmt war. Bei der grössten untersuchten Flasche (von circa 2000 qcm Belegung) erfolgte die Zündung bei Schlagweiten über $^1/_2$ mm. Kleinere Funken, wenn schon sehr hell leuchtend, veranlassten keine Explosion.

---

1) Vgl. dagegen E. Wiedemann und Schmidt, Wied. Ann. **61**, 737, 1897.

2) J. J. Thomson, Proc. Roy. Soc. **58**, 233, 1895.

3) Richarz, Beibl. **15**, 597, 1891.

4) Herwig, Pogg. Ann. **148**, 61, 1873.

Um die Wirkung von Oeffnungsfunken schwachgespannter Ströme zu untersuchen, wurde der Strom einer Dynamomaschine durch zwei in den einen von dem explosiblen Gemisch durchströmten Behälter verschliessenden Kautschukkork eingesetzte Drähte, welche sich unmittelbar berührten (Fig. 159), geleitet. Wurden die aus dem Stopfen vorragenden Enden mit der Hand etwas zusammengedrückt, so entstand zwischen den hakenförmigen Enden ein Oeffnungsfunke. Durch wiederholtes Zusammendrücken und Freilassen der Enden konnten so rasch nach einander sehr viele Funken erzeugt werden. Die Dicke der Drähte betrug ca. 3 mm.

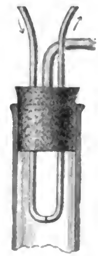


Fig. 159.

Bei Kupferdrähten erfolgte von einer Stromstärke von 18 Ampère an die Zündung mit Sicherheit, während eine Stromintensität von 15 Ampère noch ungefährlich war.

Bei Eisendraht schien die Zündung etwas leichter einzutreten als bei Kupfer. Es wurde ferner beobachtet, dass auch das Heisswerden der Drähte bei wiederholter Stromunterbrechung von Einfluss ist. Die Erhitzung der Drähte begünstigte die Zündung wesentlich, so dass schon eine Stromstärke von 8 Ampère gefährlich erscheint.

Bei Kohle erfolgte Zündung sehr viel schwieriger als bei Metallen, ja es konnte sogar ein Lichtbogen von ca. 10 Ampère ohne Gefahr in dem explosiblen Gemisch unterhalten werden. Trat Zündung ein, so erfolgte sie nicht, wie bei den Oeffnungsfunken der Metalle, mit lautem Knall und unter Abwerfen des den Glascylinder verschliessenden Stopfens, sondern ganz schwach, mit kaum hörbarem, leichtem Zischen. Die Ursache mochte wohl einerseits in der starken Absorption des Sauerstoffs durch die glühende Kohle zu suchen sein, andererseits in der durch die intensive Hitze bewirkten Verdünnung des Gases. Bei länger dauernden Versuchen stieg die Hitze so sehr, dass der den Cylinder schliessende Stopfen zu schmelzen begann.

38. Einfluss der Natur des Gases.

A. Einfluss der Gasdichte.

Dass sich mit verminderter Gasdichte die Entladungserscheinungen auf grösseren Raum erstrecken, wurde bereits bezüglich des Glimmlichts und Büschellichts näher dargelegt. Gleiches gilt natürlich auch für Funken und Lichtbogen.

Nach Harris soll das Entladungspotential bei Gasen ihrer Dichte proportional sein. Ebenso nach Röntgen,[1]) Gordon[2]) und Wolf[3]), wenigstens bis 9 Atm.

1) Röntgen, Gött. Nachr. 1878, 390.
2) Gordon, Phil. Mag. (5) 6, 1885, 1878.
3) Wolf, Wied. Ann. 37, 306, 1889.

Damit stimmen indess nicht ganz die Beobachtungen von Cardani[1]) und Paschen.[2])

Immerhin ist nach v. Obermayer[3]) und Heydweiller[4]) der Einfluss des Druckes so beträchtlich, dass bei genaueren Bestimmungen schon der Einfluss des Barometerstandes in Betracht kommt.

Nach Shand[5]) ist die dielektrische Stärke der Luft auch für Wechselstrom (bis 2 Atm.) ungefähr der Dichtigkeit proportional.

Einer Beobachtung von Hittorf zufolge vermag in hochevakuirten Röhren, in welchen die Elektroden soweit zusammen geschoben sind, dass an der Anode, weil sie sich im dunkeln Kathodenraum befindet, kein Glimmlicht mehr auftreten kann, genügende Spannung eine Art Metallentladung zu erzwingen, bei welcher die Anode heisser wird als die Kathode.

Hittorf (1869) beschreibt dies in folgenden Worten:

„Die möglichst evakuirten engen Röhren zeigen, wenn die Elektroden den kleinen Abstand 1 bis 2 mm von einander haben und ein hinreichend starker Induktionsstrom den Durchgang erzwingt, ausser dem oben beschriebenen negativen Fluoreszenzlicht an dem äussersten Ende der Anode eine Lichthülle, aus der sich ein schöner Spiegel von fein zertheiltem, fest anliegendem Platin auf der Glaswand absetzt. Leitet die Röhre einige Zeit den Strom, so erscheint dieses Ende ganz zerfressen.[6]) Auch erwärmt sich dasselbe, und Drähte von der Dicke $^1/_2$ mm werden hier schwach glühend. Am leichtesten erhält man die Zerstiebung und das Glühen, wenn eine Kohlenspitze das Ende der Anode bildet.

Eine vollständige Umkehr der Wärmeverhältnisse tritt daher, wie in den Versuchen von Gassiot (1863), ein. Die Kathode (welche, wenn mit Glimmlicht bedeckt, stark erhitzt und zerstiebt wird) bleibt hier kalt und vollständig unversehrt.

Das verflüchtigte Platin der Anode geht nicht zur nahen Kathode, sondern zur gegenüberliegenden Wand, weil es, wie das positive Licht, die Verbindung mit den Glimmstrahlen sucht. . . .

Bei grösseren Entfernungen der Elektroden habe ich in diesen Röhrchen das Glühen und Zerstieben der Anode niemals erhalten.“

Puluj (1883) und Edison (1884) beobachteten am Kohlenfaden brennender Glühlampen eine Aureole. Heim (1886) schreibt darüber:

„Die Aureole hat mit dem in Geissler'schen Röhren an der negativen Elektrode auftretenden blauen Glimmlichte nichts zu thun, denn sie bildet sich stets an dem Ende des Kohlenfadens, an welchem der positive Strom eintritt. Sie umgiebt als schwach leuchtende blaue Hülle das positive Fadenende und einen Theil der metallischen Zuleitung, besitzt meist vollkommene

1) Cardani, Beibl. **10**, 375, 1886.
2) Paschen, Wied. Ann. **37**, 69, 1889.
3) v. Obermayer, Wien. Ber. (2) **100**, 134, 1889.
4) Heydweiller, Wied. Ann. **48**, 220, 1893.
5) Shand, Elektrician **26**, 518, 1891.
6) Vgl. auch Wood, Science (2) **5**, 585, 1897.

Kugelgestalt und befindet sich zu ihrem grösseren Theile gewöhnlich auf der vom negativen Fadenende abgewandten Seite (Fig. 160). Durch Erhöhung der Spannung der Lampe wird die Aureole in allen Fällen intensiver und schärfer begrenzt, Verminderung der Spannung macht sie blässer und verschwommener. Sie reagirt kräftig auf einen genäherten Magnet, lässt sich auch, wenn nicht vorhanden, unter Umständen durch den Magnet hervorrufen. Je grösser der Abstand der Enden des Kohlenbügels, desto schöner entwickelt sie sich und desto besser kann sie beobachtet werden. Sie zeigte sich am vollkommensten in den Bernstein-Lampen, bei denen jener Abstand 25—27 mm beträgt. Ich habe die Aureole bei keiner der von mir untersuchten Lampen beobachtet, wenn die gesammte, nach der Fabrikation darin gebliebene Gasmenge noch vorhanden war. Es musste erst eine gewisse, bald grössere, bald kleinere Quantität Gas durch die Pumpe entfernt sein, bevor die Erscheinung eintrat. Bei gleichbleibender Gasmenge ist das Vorhandensein der Aureole an gewisse Druckgrenzen geknüpft. War die Lampe kalt evakuirt, soweit als es die Pumpe gestattete, so erschien bei Stromschluss die Aureole nicht sofort, sondern erst nach 5 bis 20 Sekunden. Der in diesem Augenblick erreichte Druck ergab sich zu 3 bis 5 Tausendstel Millimeter. Die Lichthülle leuchtet anfangs am intensivsten und wird nach und nach blasser. Ist der Druck bis zu einer gewissen Höhe gestiegen, so verschwindet sie. Diese obere Druckgrenze war bei verschiedenen Lampen etwas verschieden, ganz besonders aber von der Grösse der noch vorhandenen Gasmenge abhängig. Je mehr Gas nach und nach entfernt wurde, bei desto höheren Drucken verschwand die Aureole. Ich habe ihr Erlöschen bei Drucken zwischen 10 und 75 Tausendstel Millimeter beobachtet, den letzteren Werth (bei Siemens-Lampe Nr. 3) allerdings erst, nachdem während 325 Brennstunden 2600 ccm Gas (von 760 mm Druck) aus der Lampe entfernt worden waren....



Fig. 160.

In dem Maasse, wie Gas entfernt wird, erscheint die Aureole (bei gleichem Druck) intensiver gefärbt und schärfer begrenzt, und verschwindet nicht bei Erschütterungen der Lampe oder momentanem Unterbrechen und Wiederschliessen des Stromes, was sie, wenn noch viel Gas vorhanden, leicht thut."

Was die Ausbildung des Lichtbogens anbelangt, so findet W. E. Wilson [1]), dass mit steigendem Druck in Stickstoff die Helligkeit des positiven Kraters abnimmt. Bei 20 Atm. leuchtet derselbe nur noch dunkelroth (bei 10—40 Amp.). Verminderung des Druckes unter den Atmosphärendruck erhöht entsprechend die Helligkeit.

B. Einfluss der Temperatur.

Erhöhung der Temperatur bewirkt nach Baille [2]) eine stärkere Vergrösserung der Schlagweite als der Verminderung der Dichte entspricht.

1) W. E. Wilson, Proc. Roy. Soc. 58, 174, 1895.

2) Baille, Ann. chim. phys. (5) 29, 181, 1883.

Nach Cardani[1]) soll dagegen (bis 300°) die Schlagweite bei gleichbleibender Dichte unabhängig von der Temperatur sein.

Ueber den Einfluss der chemischen Beschaffenheit des Gases hat bereits Morren einige Versuche ausgeführt.

C. Einfluss der chemischen Zusammensetzung.

Faraday[2]) sagt über den Einfluss der Natur des Gases bezüglich der Büschelentladung: „Was z. B. Stickstoff und Salzsäuregas betrifft, so entstehen, soweit meine Versuche reichen, in dem ersteren weit schönere und grössere Büschel als in dem letzteren, während doch die zur Einleitung der Entladung erforderliche Intensität für Salzsäure weit höher ist als für Stickstoff.“[3])

„Das Ueberwiegen des positiven Büschels in Luft ist wohl bekannt. In Stickstoff ist es ebenso und selbst grösser als in Luft. In Salzsäuregas ist das positive Büschel sehr wenig bedeutender als das negative.“[4])

W. Holtz bemerkt über den Einfluss von Leuchtgas:

„Hält man die Oeffnung eines Gasschlauches unter eine der gewöhnlichen Elektroden (der Influenzmaschine), während die andere abgeleitet ist, so prägt sich schon bei Tage in der Veränderung des Tones, welchen der einseitige Büschel erzeugt, der Einfluss des Gasflusses aus. Der Ton des positiven Büschels wird durch den Gasfluss erhöht, während sich umgekehrt derjenige des negativen vertieft. Der Gasfluss begünstigt also die Ausströmung der positiven und hemmt diejenige der negativen Elektrizität. Da derjenige Büschel aber, welcher seltener entsteht, mit grösserer Intensität erfolgen und dem entsprechend in grösserer Länge erscheinen muss, so lässt sich hieraus schon schliessen, dass der positive Büschel eine Verkürzung, der negative eine Verlängerung erfahren wird. . . .

Man ersetze die linke Entladungsstange durch eine einfache Messingröhre, an deren äusserem Ende der Gasschlauch befestigt wird. Auf das innere Ende kann eine Kugel geschoben werden, welche eine feine, etwa 1 mm weite Oeffnung hat. Statt der Kugel aber kann man auch einen Blechstreifen hineinschieben, welcher äusserlich zugespitzt oder noch besser mit einer Nadel ausgerüstet ist. Der Kugel oder der Nadelspitze, als der einen Elektrode, stellt man am besten eine grössere Kugel oder eine Hohlscheibe gegenüber.

Wählen wir zunächst die Nadelspitze und schliessen den Gasfluss ab, so wird sich bei positiver Ausstrahlung für gewöhnlich ein feiner schlanker Büschel repräsentiren, der sich sofort verkürzt, seinen Stiel verliert und tellerartig wird, wenn wir Gas zufliessen lassen. Weniger charakteristisch fällt bei Anwendung einer Nadel das Verhalten des negativen Büschels aus. Anders bei Anwendung der Kugel. Hier ist der negative Büschel gerade derjenige,

---

1) Cardani, Rend. Arc. Lincei **6**, 44, 1888.

2) Faraday, Experimentalunters. S. 415 § 1446.

3) l. c. S. 424 § 1476.

4) Vgl. auch E. Wiedemann und Schmidt, Wied. Ann. **61**, 737, 1897.

welcher sich am meisten modifizirt. Bei Gasabschluss ist es ein kleiner kaum 8 mm langer Kegel, bei Gaszufluss ein schlanker Büschel mit deutlich ausgeprägtem Stiel. . . . (Figg. 161 und 162.)

Machen wir die Kugel zur positiven Elektrode, so können wir leicht durch Vergrösserung oder Verkleinerung des Abstandes beider Elektroden bewirken, dass an jener keine Büschel-, sondern eine Glimmlichtbildung erfolgt. Lassen wir nun das Gas fliessen, so tritt sofort die Büschelbildung wieder ein, und sie wird nie, wie wir auch die Elektroden stellen, durch ein Glimmen unterbrochen werden. Wir beobachten ferner, dass der Stiel des positiven Büschels niemals dem Zentrum der vorderen Kugelfläche, sondern einer mehr seitlichen Stelle entspringt, weil die Elektrizität der rotirenden Scheibe eine starke Abstossung auf denselben übt. Lassen wir aber das Gas fliessen, so

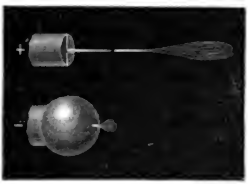


Fig. 161.

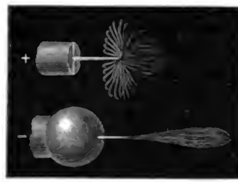


Fig. 162.

überwiegt der begünstigende Einfluss desselben jene Abstossung so sehr, dass der Stiel des Büschels genau der zentralen Oeffnung zu entspringen scheint.“

Nach Harvey und Hird[1]) strömt bei Tesla'schen Büschelentladungen aus einer Spitze gegen eine Platte in Luft und Sauerstoff vorwiegend positive, in Wasserstoff vorwiegend negative Elektrizität aus.

Zu gleichem Ergebniss kam auch Himstedt.[2])

Wesendonck (1887) erzeugte die Büschelentladungen an einer durch einen galvanischen Strom im Glühen erhaltenen, also Metalldampf erzeugenden Oese aus Platindraht. Ich entnehme seiner Abhandlung die folgende Stelle:

„Lässt man nun, wenn sich ein schöner Büschel an der Platinöse als Anode ausgebildet, auf die früher angegebene Weise das Platin erglühen, so ändert sich sofort die Lichterscheinung in recht auffallender Weise. Der Stiel wird länger, das ganze Büschel zieht sich von den Seiten her stark zusammen, indem die Divergenz der Verzweigungen erheblich abnimmt. Oft theilt sich dabei der Büschel in mehrere Theile, indem nunmehr die Entladung von verschiedenen Stellen des heissen Drahtes ausgeht, und nicht von einer einzigen, wie beim kalten Drahte. Ist bei letzterem schon ein mehrstieliger

1) Harvey und Hird, Phil. Mag. (5) **36**, 45, 1893.

2) Himstedt, Wied. Ann. **52**, 482, 1894. Vgl. auch S. 168.

Büschel vorhanden, so verstärken sich die Nebenstiele beim Glühen, auch treten wohl neue hinzu. Die Länge der gesammten Erscheinung nimmt dabei aber keineswegs ab, wohl aber ist die Funkenbildung sehr erschwert. Fast immer treten Funken, nur bei viel kleinerem Abstande, als bei kaltem Drahte auf. Ist die Platinöse mit negativer Elektrizität geladen, so bleibt der kleine Lichtpinsel bestehen; aber vor ihm bemerkt man einen röthlich gelben, etwa 1 cm langen Strahl, der nur schwache Divergenz zeigt, und in den bei weitem meisten Fällen erscheint wieder die Funkenlänge durch das Glühen ceteris paribus reduzirt."

Nach Morren[1]) beginnt bei der angewandten elektromotorischen Kraft die Leitungsfähigkeit von Wasserstoff bei 74 mm, für Kohlensäure bei 39 mm, für Luft bei 29 mm Druck; dieselbe erreicht ein Maximum für Wasserstoff bei 1,0, Sauerstoff 0,7, Luft 0,7, Kohlensäure 0,8, Stickstoff 1,0 Millimeter. Bei 0,1 mm ist die Leitungsfähigkeit der Reihe nach kleiner für Luft, Wasserstoff, Kohlensäure, Stickstoff, Sauerstoff.[2])

Natterer[3]) kommt zu dem Ergebniss: „Wenn man die Gase und Dämpfe derart ordnet, dass immer diejenigen zusammenkommen, deren Moleküle aus gleich viel Atomen bestehen, so findet man, dass innerhalb einer solchen Reihe mit zunehmendem Molekulargewichte die Schlagweite der Elektrizität und die Ausdehnung des Glimmlichts abnehmen, während die Leuchtkraft zunimmt.

Nach Warren de la Rue und H. Müller sind die Entladungsfunken einer grossen galvanischen Batterie der Reihe nach grösser in Kohlensäure, Sauerstoff, Luft, Stickstoff und Wasserstoff.

Lässt man nach Hempel Untersalpetersäure (Stickoxyd) zwischen den Konduktoren einer Elektrisirmaschine, zwischen welchen Funken überschlagen, aufsteigen, so hören die Entladungen alsbald auf, sie treten von Neuem ein, sobald die Untersalpetersäuredämpfe wieder entfernt werden.



Fig. 163.

Geht der Funke bei mikroskopischer Elektrodendistanz in Kohlensäure über, so erscheint[4]) die Funkenbahn in der Mitte verhältnissmässig dunkel, nur an den Elektroden zeigen sich unregelmässig gebogene spitz zulaufende Funkenstumpfe (Fig. 163).

Die Figuren Taf. II Fig. 18 und 19 zeigen nach eigenen Beobachtungen das Aussehen der Entladung bei mikroskopischer Elektrodendistanz in Leuchtgas. Diese beiden Entladungsformen wechselten mit einander, was wohl durch Aenderung der Stromstärke bedingt war. Bei der in Fig. 19 dargestellten Form wurde die Kathode, wie angedeutet, glühend, da sie vollständig von negativem Glimmlicht bedeckt war.

---

1) Morren, Pogg. Ann. **130**, 631, 1867.

2) Eine Tabelle für die „spezifische elektrische Festigkeit" verschiedener Gase bezogen auf Luft giebt Paschen in Wied. Ann. **37**, 69, 1889.

3) Natterer, Wied. Ann. **38**, 663, 1889.

4) O. L., Wied. Ann. **11**, 703, 1880.

Bezüglich des Lichtbogens bemerkt Silvanus Thompson[1]), dass bei Anwendung von Chlor oder CO die Anode flach bleibt, statt sich auszuhöhlen. In Leuchtgas brennen die Ränder des Kraters nicht fort und der Bogen bildet sich im Innern eines Hohlraums.

Meinen eigenen Beobachtungen zufolge erhält man sehr helle Lichtbogen in Leuchtgas und Petroleumdampf in Folge von Russabscheidung. Der Bogen erscheint stark zusammengezogen, vermuthlich weil die Dissoziation des Kohlenwasserstoffes sehr viel Energie absorbirt.

Verwendet man als Elektrizitätsquelle einen Transformator, so kann man schon bei 2000 Volt und 3 mm Druck einen Lichtbogen erhalten, welcher einen Luftpumpenrezipienten von ca. 30 cm Durchmesser und 50 cm Höhe ganz ausfüllt.

Versieht man die untere durch den Luftpumpenteller hindurchgeführte Elektrode mit einem Näpfchen mit Talg, so nimmt der Lichtbogen das Aussehen einer stark russenden Flamme an. Füllt man das Näpfchen mit Natrium oder Quecksilber, so zieht sich der Lichtbogen zusammen und strahlt gelbes bezw. intensiv weisses Licht aus.[2])

Bereits Matteucci[3]) beobachtete, dass der Lichtbogen verschiedene Leitungsfähigkeit besitzt, je nach den Metallen, welche als Pole dienen.

Nach Way und Gladstone (1860) kann man leicht einen andauernden Lichtbogen zwischen Quecksilberelektroden erhalten, wenn man einen genügend starken Strom durch einen feinen, aus einem Trichter ausfliessenden Quecksilberstrahl leitet oder durch ein an der Biegung verengtes, mit Quecksilber gefülltes U-Rohr aus Glas.[4])

Nach Natterer[5]) sind in Quecksilber- und Kadmiumdampf Leuchtkraft und Schlagweite ausnehmend grösser als in allen andern untersuchten Gasen und Dämpfen.

Schuster war der Meinung, dass im Quecksilberdampf weder ein dunkler Kathodenraum noch Schichtungen auftreten können.

Diese Ansicht Schusters ist nach Warburg[6]) nicht zutreffend. Die Röhren von Schuster waren zu eng und selbst wenn die polaren Differenzen in der Lichterscheinung nicht deutlich hervortreten, zeigen sie sich doch in der Existenz des Kathodengefälles, welches, wie man durch Erhöhung der Dichte des Quecksilberdampfes nachweisen kann, sich nicht auf Verunreinigungen

---

1) Silvanus Thompson, Beibl. **17**, 239, 1892.

2) O. L., Wied. Ann. **55**, 371, 1895.

3) Matteucci, C. R. **30**, 201, 1850.

4) Aehnliche Versuche habe ich selbst (1882) in den Werkstätten von Heilmann, Ducommun und Steinlen in Mülhausen i. E. ausgeführt. Für die freundliche Erlaubniss hierzu bin ich genannten Herrn sehr zu Dank verpflichtet. Anregung dazu gab eine (unveröffentlichte) Arbeit über das Spektrum des Quecksilberdampfes, welche ich auf Warburg's Veranlassung ausführte, sowie eine Idee über praktische Verwerthung dieser Erscheinung zu Beleuchtungszwecken.

5) Natterer, Wied. Ann. **38**, 663, 1889.

6) Warburg, Wied. Ann. **40**, 13, 1890.

zurückführen lässt. An der Kathode zeigt sich ein Linienspektrum, das positive Licht dagegen zeigt ein kontinuirliches Spektrum.

Arons[1]) beobachtete bei einem Lichtbogen zwischen Quecksilberelektroden in Quecksilberdampf folgende zusammengehörige Werthe von Stromstärke und Spannung:

Ampère	11	9	7	5,5	3	2	1,4
Volt	17,5	17	16,5	16	15,3	14	20.[2])

39. Gemischte Gase.

A. Schimkow[3]) schreibt: „Bei der Funkenentladung sendet ausser dem Stickstoff auch der Sauerstoff Licht aus, denn die hellen Linien, welche man in dem Funkenspektrum in der atmosphärischen Luft beobachtet, enthalten neben den Stickstofflinien auch die von Sauerstoff. Bei der Büschelentladung verhält es sich anders: bei dieser leuchtet nur der Stickstoff und zwar in anderer Weise als bei der Funkenentladung, was ohne Zweifel seinen Grund in der verschiedenen Erwärmung hat, welche bei beiden Arten der Entladung stattfindet."

„Es stimmt dies mit der Angabe von Plücker und Hittorf[4]) überein, dass man nicht ganz reines Stickgas anzuwenden braucht, um ein reines Stickstoffspektrum zu erhalten und dass man in einem mit atmosphärischer Luft gefüllten Spektralrohr das Sauerstoffspektrum nur bei Einschaltung einer Leydener Flasche erhält."

Morren[5]) liess in ein fast völlig evakuirtes Rohr, welches im wesentlichen nur Quecksilberdampf enthielt, während des Durchgangs der Entladung Wasserstoff von 0,76 mm Druck eintreten. Das Licht wurde nun sehr hell, obschon Wasserstoff ohne Quecksilber sehr wenig leuchtet. (Gase ohne Quecksilberdampf wurden durch Ausspülen des evakuirten Gefässes mit reinem Gas und abermaligen Anschluss an die Quecksilberluftpumpe erhalten, wobei nur Gas heraus, aber kein Quecksilberdampf hinein kann.)

Faye[6]) erhitzte verschiedene Metalle auf einer in einem Glasballon angebrachten galvanisch glühend gemachten Eisenplatte und untersuchte die Entladung in dem entstehenden Gemisch von Luft und Metalldampf (wie schon

1) Arons, Verh. d. phys. Ges. Berlin 21. X. 1892.

2) Verschiedene interessante Beobachtungen über den Quecksilberlichtbogen und eine Quecksilberlichtbogenlampe theilt Arons mit in Wied. Ann. **58**, 73, 1896.

3) A. Schimkow, Pogg. Ann. **129**, 516, 1866.

4) Plücker und Hittorf, Phil. Trans. 1865.

5) Morren, Ann. chim. phys. (4) **4**, 325, 1867.

6) Faye, C. R. **53**, 493, 1861.

früher Davy). Aehnlich experimentirte A. de la Rive, welcher einen 4fach tubulirten mit Stickstoff von 2—3 mm Druck gefüllten Glasballon benutzte, in welchem gleichzeitig zwischen zwei Elektroden Gasentladung und zwischen zwei anderen ein Lichtbogen hervorgebracht werden konnte. Es beeinflussten insbesondere Silber- und Kupferdämpfe Färbung und Stärke der Gasentladung.

E. Wiedemann[1]) führte den Nachweis, dass, wenn Stickstoff mit Natriumdampf gemischt wird, die Spektrallinien des ersteren Gases verschwinden, so dass anzunehmen ist, der Strom werde ausschliesslich durch die Natriumdampfmoleküle geleitet. Gleiches fand sich bei Mischungen von Wasserstoff mit Quecksilberdampf.[2])

Hittorf[3]) macht darauf aufmerksam, dass, wie schon lange bekannt, das Davy'sche Bogenlicht nur die Spektra der Kohle und der Metalle, welche als Elektroden benutzt wurden, zeigt, die der Luft oder der Gase, in welchen der Bogen stattfindet, treten nicht auf.

Crookes[4]) beobachtete in Wasserstoffröhren blaue, blassrothe und graue Schichten. Das blaue Licht schreibt er dem Quecksilberdampf, das röthliche dem Wasserstoff und das graue Fettdämpfen zu.[5])

Bei eigenen Untersuchungen über Entladungen in stark verdünnter Luft unter Anwendung von sehr nahestehenden Messingplatten als Elektroden[6]) zeigten die positiven Schichten auf der von der Anode abgewandten Seite einen scharf gegen das rothe Licht der Schichten abgegrenzten grünen Saum, der nur durch die Anwesenheit von Kupferdampf bedingt sein konnte.

Nach Arons[7]) ist das Kaliumspektrum neben dem Quecksilberspektrum nicht zu sehen.

Baly[8]) beobachtete, dass in einer Vakuumröhre mit wenig Wasserstoff die H-Linien nur an der Kathode deutlich sichtbar waren, wie wenn das H sich an letzterer angesammelt hätte. Es gelang ihm in der That, eine Sonderung der Gase unter Anwendung zweier durch eine Kapillare verbundener Entladungsgefässe zu bewirken und zwar wurde aus einem Gemisch von CO_2 und H der Wasserstoff fast vollständig in das die Kathode enthaltende Gefäss getrieben. Gleiches geschah bei Ersetzung der CO_2 durch N, CO, SO_2, J und Hg-Dampf. Bei Luft gelang die Trennung von N und O nur bei sehr grosser Verdünnung und zwar ging O zur Kathode.[9])

1) E. Wiedemann, Wied. Ann. **5**, 517, 1878.

2) Vgl. auch E. Wiedemann und Schmidt, Wied. Ann. **61**, 737, 1897.

3) Hittorf, Wied. Ann. **21**, 123, 1884.

4) Crookes, Chem. News **43**, 53—112, 1891.

5) Nach E. Wiedemann und Schmidt, l. c., zeigen sich indess derartige verschiedene Färbungen auch in reinen Gasen.

6) O. L., Ztschr. f. phys. Chem. **18**, 104, 1895.

7) Arons, Wied. Ann. **58**, 92, 1896.

8) Baly, Phil. Mag. (5) **35**, 200, 1893.

9) Vgl. auch die ähnlichen Versuche von Perrot (1858 und 1861), Lüdeking und J. J. Thomson (S. 264).

Nach Olearski[1]) zeigen gemischte Gase nicht die nach der Formel $M = HN/(\alpha N + \beta H)$ aus den elektrischen Festigkeiten ihrer Bestandtheile berechnete mittlere Stärke M, wo α und β die Antheile der Gase in der Volumeneinheit sind.

J. J. Thomson[2]) fand, dass bei Atmosphärendruck trockener Wasserstoff eine grössere Potentialdifferenz auszuhalten vermag als feuchter. Für den ersten Funken ist das Entladungspotential ein weit grösseres als für die folgenden. Gleiches gilt für reinen Wasserdampf.

Faiscett[3]) untersuchte die Entladungsgradienten der Mischungen von Wasserstoff und Stickstoff. Für jede Mischung existirte ein besonderer günstigster Druck.

40. Einfluss der Natur der Elektroden.

Ueber das Aussehen der Entladung bei verschiedenartigen Elektroden sind bis jetzt nur wenige Untersuchungen ausgeführt worden.

Die beobachteten Aenderungen der Lichterscheinungen erklären sich meist durch die Verminderung der Entladungsintensität in Folge des geänderten Widerstandes der Elektroden.

Werden als Elektroden feste oder flüssige Elektrolyten (z. B. geschmolzenes Chlorsilber) angewandt, so findet an diesen in derselben Weise elektrolytische Ausscheidung (z. B. von Silber) statt, als ob die dazwischen befindliche Luftschicht ein Metall wäre.

Solche Versuche über Elektrolyse mit hochgespannter Elektrizität haben bereits Faraday, Becquerel (1876) und Warburg ausgeführt.

Paalzow (1879) untersuchte die Entladung zwischen Elektroden aus Schwefelsäure. Die Glimmentladung über der Kathode gleicht dabei einigermaassen der Flamme eines Rundbrenners, das positive Licht geht von der Grenzlinie von Schwefelsäure und Glaswand aus. Wird die Röhre geneigt, so ist das negative Licht an der tiefsten Stelle am hellsten, das positive geht von der höchsten Stelle des Randes der Flüssigkeitsoberfläche aus.

Ich selbst habe früher einige mikroskopische Versuche angestellt. Als Elektroden dienten: feste Metalle, Kohle, Quecksilber, Wasser, kaltes und heisses Glas.[4])

Zu den Versuchen mit Glaselektroden dienten geschlossene, innen mit Quecksilber gefüllte Glasröhren, welche mit einem kleinen Induktionsapparate verbunden wurden.

1) Olearski, Proc. Roy. Soc. Cambr. **5**, 325, 1886.
2) J. J. Thomson, Phil. Mag. (5) **36**, 313, 1893.
3) Faiscett, Proc. Roy. Soc. **56**, 263, 1894.
4) O. L., Wied. Ann. **22**, 326, 1884.

War das Glas negativ, so zeigte sich darauf ausgedehntes Glimmlicht, gegen welches ein sehr dünner, in eine schlanke Spitze auslaufender, von der Anode ausgehender Lichtstreifen gerichtet war, ohne damit in Berührung zu kommen.

Bei neueren Versuchen[1]) benutzte ich die mehrfach erwähnten grossen Luftpumpenrezipienten, unter welche möglichst grosse flache Schalen aus Blei zur Aufnahme der zu untersuchenden Flüssigkeiten gesetzt waren, wie bei den auf S. 87 beschriebenen Versuchen.

Von den Beobachtungen sei nur eine bei Anwendung von nahezu reinem Glycerin erwähnt.

Die von der Anode ausgehende rothe positive Lichtsäule theilte sich hierbei in der Nähe der Kathode, wie Taf. VI Fig. 5 zeigt, in mathematisch genauer Weise in 2, 3, 4 oder mehr Aeste, von welchen sich jeder zu einem Sektor der blauen Glimmlichtscheibe auf der Kathode wendet, in einen sehr flachen, dem blauen Glimmlicht unmittelbar aufsitzenden Lichtkegel auslaufend, welcher in regelmässiger Weise, wie aus der Figur zu erkennen, aus exzentrischen ovalen Ringen zusammengesetzt ist.

Die letzteren repräsentiren das negative Büschellicht. Fehlt dieses, ist nur der positive Büschel vorhanden, so ist das Glycerin lediglich mit einer blauen Glimmlichtscheibe bedeckt, welche aber ebenfalls in Sektoren eingetheilt sein kann.

Die Sektoren der blauen Glimmlichtscheibe sind nicht wie die der früher (S. 87) beschriebenen rothen positiven Scheibe Kreissektoren, sondern langgestreckte Ellipsen, welche bei grosser Anzahl, wie Fig. 6 Taf. VI zeigt, in schmale, geradlinige, nur wenige Millimeter breite Streifen übergehen. Solche Strahlensysteme bilden sich auch auf anderen Flüssigkeiten, doch erhielt ich sie bei keiner anderen in gleicher Regelmässigkeit wie bei Glycerin.[2])

Verwendet man bei Herstellung des Lichtbogens im Vakuum Eisenelektroden, so ist (meinen eigenen Beobachtungen zufolge) die Aureole (das Entladungsgebiet) von erheblich geringerem Durchmesser als bei gleichdicken Kupferelektroden und von graugelber statt grüner Farbe.[3])

Bei Natrium und Kalium ist die Lichtentwickelung sehr gering und man kann z. B. bei Kalium Ströme von 2—3 Amp. Stärke durch den Dampf senden, während sich die Lichterscheinung auf zwei helle Punkte an den Elektroden beschränkt, es kann sogar anscheinend der eine Lichtpunkt ganz verschwinden, doch ist, wegen Beschlagen des Rezipienten, die Beobachtung schwierig.

Lässt man durch einen ausgedehnten horizontalen Lichtbogen im Vakuum von einem darunter befindlichen zweiten Lichtbogen oder elektrisch erhitzten Tiegel Metalldämpfe aufsteigen, so färbt er sich in Folge der raschen Ausbrei-

1) O. L., Zeitschr. f. Elektrochemie II, 463, 1896.
2) O. L., Zeitschr. f. Elektrochemie II, 481, 1896.
3) O. L., Wied. Ann. **55**, 371, 1895.

tung der Metalldämpfe sofort in seiner ganzen Ausdehnung und zieht sich (speziell bei Anwendung von Quecksilber) in Folge der besseren Leitungsfähigkeit dieser Dämpfe auf beträchtlich kleineren Querschnitt zusammen (S. 275).

Bei neueren Versuchen[1]) wurde das betreffende Metall in eine zugleich als Elektrode dienende flache quadratische eiserne Schale von 7 cm Seitenlänge gebracht, welche durch Niederspannungsstrom von ca. 500—2000 Ampère Stärke eventuell bis zum Glühen erhitzt werden konnte. Die Schale befand sich unter einem oben tubulirten Luftpumpenrezipienten von 40 cm Durchmesser und 50 cm Höhe, durch dessen Tubulus die andere aus einem dicken Kupferklotz gebildete Elektrode hindurchgeführt war und zwar so, dass sie während des Stromdurchgangs der Schale genähert oder davon entfernt werden konnte. Die Starkstromleitungen zur Erhitzung waren in der in Fig. 164 angedeuteten Weise luftdicht durch den eisernen Luftpumpenteller hindurchgeführt und wurden durch umgeleitetes Wasser kühl gehalten.

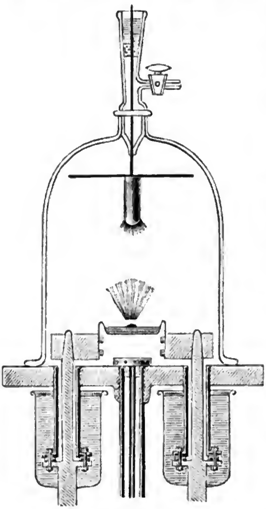


Fig. 164.

Die Luft wurde bis auf etwa 5 mm Druck ausgepumpt. Der Rest wurde durch den sich entwickelnden Metalldampf beim Erhitzen der Schale aus dem Zwischenraum zwischen den Elektroden verdrängt.

Die elektrische Festigkeit des Gases zeigte sich schon bei Beimischung von nur wenig Metalldampf bedeutend verringert, so dass Spannungen, welche in Luft von gleicher Dichte nur bei sehr geringem Abstand der Elektroden die Entladung zu unterhalten vermochten, ausreichten eine anscheinend den ganzen Inhalt des Rezipienten ausfüllende Entladung hervorzurufen.

Sehr häufig erschienen nur die beiden Elektroden mit einer ausgedehnten dünnen Glimmlichthaut oder einzelnen Glimmlichtpunkten bedeckt, während fast die ganze Gas- oder Dampfmenge dunkel blieb.

Zuweilen stellte sich zunächst eine sehr schwache Glimmentladung ein, welche sich dann plötzlich in eine starke mit geringer Spannung umwandelte, welche bei noch mehr vergrösserter Stromstärke ebenso plötzlich unter abermaligem Spannungsrückgang in Lichtbogen überging.

1) L. O., Verh. d. Karlsr. Nat. Ver. **12**, 1896.

Die Farbe des Glimmlichts an einer blanken siedenden Natriumfläche war nicht gelb, wie man erwarten sollte, sondern lila bis hell(röthlich)blau. Ein dunkler Kathodenraum schien nicht vorhanden zu sein, doch war der Dampfdruck noch ziemlich gross (ca. 5 — 10 mm), entsprechend der noch im Rezipienten vorhandenen Stickstoffmenge.

War das Natrium Kathode und wurde die Stromstärke soweit gesteigert, bis die Entladung an demselben sich auf einen Punkt konzentrirte, so erschien dieser Punkt hellblau bis röthlichblau und darüber schwebte, durch einen dunkeln Raum getrennt, ein Büschel in der rothgelben Farbe des gewöhnlichen Natriumlichts. Die Anode war mit grünem Glimmlicht bedeckt.

Wurde Kalium an Stelle des Natriums gebracht, so war der helle Fleck citrongelb, der Büschel blutroth und das Glimmlicht an der Anode hellblau.

Bildete sich eine positive Lichtsäule aus, so zeigte sie da, wo sie in den Metalldampf eintrat, starke Kontraktion und gewöhnlich auch andere Fär-

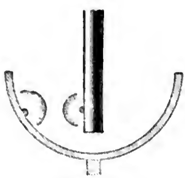


Fig. 165.



Fig. 166.

bung. Bei einem vermuthlich unreinen Natrium war beispielsweise der dicke positive Theil der Lichtsäule rothgelb, der dünne, vom Natrium ausgehende, negative Theil citrongelb. Der erstere zeigte im Spektroskop wesentlich nur die Natriumlinie, der andere neben derselben eine intensive gelbgrüne Linie.

Nach E. Wiedemann und G. C. Schmidt[1]) ist bei Natriumdampf der Kathodensaum orange, das negative Glimmlicht weisslich, das positive Licht gelb. In Kaliumdampf das Glimmlicht weisslich, das positive Licht purpur.

Nach van der Willigen geht der Lichtbogen zwischen Kupferelektroden von einer auf der Kathode ruhenden hellen Stelle aus.

Als ich bei meinen Versuchen über den Lichtbogen im Vakuum den Lichtbogen von 3 — 4 mm Druck zwischen einem Messingrohr von 5 mm Durchmesser als Anode und einer sehr nahestehenden Messingschale von 8 cm Durchmesser als Kathode erzeugte (Fig. 165), so erschien derselbe in Form zweier äusserlich gleicher durch einen dunkeln Raum getrennter halbkugelförmigen Büschel, von denen der auf der Kathode aufsitzende von einem hell weiss strahlenden

1) E. Wiedemann und G. C. Schmidt, Wied. Ann. 57, 456, 1896.

Punkt ausging und schön grün gefärbt war, während der ziegelrothe positive Büschel von einem in hell rosafarbenem Lichte erglänzenden Punkte ausstrahlte.[1])

Bei Anwendung 20 mm dicker cylindrischer Elektroden aus Magnesium zeigte sich an der Anode ein kleiner grasgrüner Büschel von einem hellgrün strahlenden Punkt ausgehend. Der Büschel an der Kathode war lang und leuchtete schwach röthlich (Fig. 166). Während also bei andern versuchten Metallen der negative Büschel von einem sehr hellen Punkt ausging und der positive die grösste Länge hatte, war dies bei Magnesium gerade umgekehrt.

Der Lichtbogen wird in Metalldämpfen bedeutend länger, somit auch dann, wenn die leichter zu verdampfende Elektrode Anode ist und sich über der Kathode befindet, also heisser wird. So entsteht leicht ein langer Bogen zwischen einer positiven Elektrode von Silber und einer negativen von Kohle, indess nicht umgekehrt.

Fizeau und Foucault[2]) schreiben: „Interessante Besonderheiten zeigen sich, wenn der eine Pol aus Kohle, der andere aus reinem Metall besteht. Ist der positive Silber und der negative Kohle, so bildet sich der Bogen leicht, bald schmilzt das Silber und destillirt reichlich; nun kann man die Kohle weiter entfernen, ohne den Lichtbogen zu unterbrechen, der vielmehr merkwürdig und ständig schön ist. Vertauscht man die Pole, so ist die Erscheinung anders. Im ersten Augenblick bildet sich der Bogen wie vorhin, von der positiven Kohle zum negativen Silber; allein bald kommt das Silber in Fluss und der Bogen zerfällt. Versucht man ihn wieder herzustellen, so zeigt sich das sehr schwierig und wenn es nach einigen Augenblicken gelingt, so bewegt sich der Theil des Bogens, der die Silberkugel berührt, mit einem eigenthümlichen Geräusch."

Leitet man nach Sahulka Wechselstrom zwischen einer Kohlen- und einer Eisenelektrode durch, so wird der eine der beiden Ströme stark geschwächt, so dass man gewissermaassen eine Kombination von Wechselstrom und Gleichstrom erhält.[3])

Nach Gold[4]) findet diese Erscheinung ihre Erklärung in einer grösseren Leitungsfähigkeit des Lichtbogens in der Richtung Eisen—Kohle, wenn vorher ein entgegengesetzter Strom floss und in den Schwingungen, welche die flüssige Eisenelektrode ausführt. Bei Anwendung von Gleichstrom ist der Lichtbogen Eisen—Kohle bedeutend länger für die Stromrichtung Kohle—Eisen als umgekehrt.

Versuche über die Bildung eines Lichtbogens zwischen einem Metall und einer nichtmetallischen Flüssigkeit wurden ausgeführt von Paels von Troostwyk und Deiman (bei Zersetzung des Wassers mittelst Reibungs-

1) O. L., Zeitschr. f. phys. Chem. **18**, 110, 1895.
2) Fizeau und Foucault, Pogg. Ann. **63**, 474, 1844.
3) Siehe auch Arons, Wied. Ann. **57**, 197, 1896.
4) Gold, Wien. Ber. **104**, 814, 1895.

elektrizität, Journal de Physique **35**, 371, 1789); Hare, Macrell (1841); Fizeau und Foucault (Ann. chim. phys. (3) **11**, 383, 1844); Quet (Pogg. Ann. **92**, 185, 1853); Grove (Phil. Trans. **1**, 88, 1852); van der Willigen (Pogg. Ann. **93**, 285, 1854); Slouguinoff (Carl's Rep. **18**, 333, 1882 und Beibl. **5**, 901, 1881); Richarz (Beibl. **15**, 597, 1890); Chree (Proc. Phil. Soc. Cambridge **7**, 222 1891) u. A.

Man beobachtet beispielsweise zwischen einem spitzen Platindraht als negativer und konzentrirter Schwefelsäure als positiver Elektrode bei geringem Abstande eine Hülle von blauem Glimmlicht um den Draht selbst bei Anwendung von nur 40—80 Bunsen'schen Elementen.

Nach Richarz soll dabei der Dampf der Flüssigkeit elektrolysirt werden.

Bekanntlich haben die Versuche von Lagrange und Hoho (Beibl. **16**, 231, 1892 und **17**, 362, 600, 1893) zu einer technischen Verwerthung der Erscheinungen zur raschen Erhitzung von Eisenstücken („Wasserofen") geführt.

41. Die Aureole.

Leiten wir den Strom durch eine metallisch leitende Flüssigkeit oder einen Elektrolyten, so breiten sich die Stromlinien nahezu überall hin aus, soweit der Leiter sich ausdehnt. Im Falle der Gas- oder Metallentladungen dagegen, welche erst bei Erreichung eines bestimmten Potentialgradienten eintreten, beschränkt sich die Strömung nach den üblichen Vorstellungen auf die in rothem und blauem Licht erstrahlenden Gasmassen, doch ist man genöthigt zuzugeben, dass auch der dunkle Trennungsraum, sowie die dunkeln Räume zwischen den Schichten des positiven Lichtes den Strom hindurchlassen, was Faraday bekanntlich veranlasste, die Entladung überhaupt als „dunkele Entladung" zu bezeichnen.

Vermag nun vielleicht der Strom auch die ausserhalb der leuchtenden befindliche Gasmasse in Form dunkler Entladung zu durchdringen und wie kann man hierüber Aufschluss erhalten?

Zunächst muss hier in Betracht gezogen werden, dass speziell bei Induktionsfunken schon vor langer Zeit, zuerst von Th. du Moncel[1]) das Auftreten einer grünlichgelben Hülle, der Aureole, bemerkt wurde, welche besonders intensiv auftrat, wenn man die Poldrähte mit ätherischem Oel benetzte.

Sinsteden (1855) beobachtete, als er den Funken zwischen zwei Stahl- oder Platinspitzen übergehen liess, in der Mitte, wo sich die beiden Feuerstrahlen begegnen, die Bildung einer röthlichen Feuerscheibe ähnlich der Wasserscheibe beim Zusammentreffen von entgegengesetzt fliessenden Wasser-

1) Th. du Moncel, C. R. **40**, 313, 1855.

strahlen. Leicht entzündliche Körper konnten durch diese Feuerscheibe in Flammen gesetzt werden.

Eine derartige Lichthülle beobachtete ich auch bei mikroskopisch kleinen Elektrodendistanzen in ligroindampfhaltiger Luft.[1]) Ich hielt dieselbe damals für eine wirkliche Flamme. Später fand ich Aehnliches auch bei Abwesenheit des Ligroindampfes.[2]) Die betreffende Stelle lautet:

„Ist die Elektrodendistanz sehr klein, so wird das umgebende Gas zuweilen bis zur Glühhitze erwärmt und bildet eine röthlich leuchtende Hülle um den Funken, die wohl zu unterscheiden ist von der sogenannten Lichthülle des Induktionsfunkens, die nichts anderes als mit dem Funken rasch alternirende und deshalb gleichzeitig wahrgenommene Streifenentladung ist. Die Form dieser Hülle glühenden Gases ist in Taf. II Fig. 13 links dargestellt, nach einem Experiment mit spitzigen, messingenen Elektroden. Taf. II Fig. 13 rechts zeigt dieselbe im Falle der Ableitung der positiven Elektrode, wobei sie sich vorzugsweise am negativen Pol ausbildet.“



Fig. 167.

Die Bemerkung bezüglich der Lichthülle des Induktionsfunkens bezieht sich auf die (nicht mit der ursprünglichen übereinstimmenden) Definition derselben, die in G. Wiedemann's „Elektrizität“[3]) gegeben ist, welcher zufolge die Aureole „an der Endfläche der positiven Elektrode beginnt, daselbst röthlich ist und sich mit lavendelblauem Lichte noch über die negative Elektrode ausbreitet.“

Auch H. Hertz[4]) hat später die Erscheinung selbständig aufgefunden und näher untersucht. Er scheint der Ansicht gewesen zu sein, dass es sich um leuchtende heisse Gasmassen handelt, die zuvor durch den Entladungsprozess zum Leuchten gebracht wurden, sich aber unabhängig von der Bahn der Entladung fortbewegen und unter Umständen auch nach Aufhören der Entladung einige Zeit weiterleuchten können.

Nachdem er zunächst die Bildung einer gelblichen Hülle um gewöhnliche Flaschenfunken beschrieben hat, fährt er fort:

„Wesentlich auffallender gestaltete sich die Erscheinung, als die positive Elektrode in ein kurzes, enges Glasrohr eingesetzt wurde und die negative neben die Mündung. Der bräunlichgelbe Strahl nahm dann Flammenform an und konnte mehrere Centimeter Länge erreichen (Fig. 167).

Wurde auch die Kathode in das Glasröhrchen eingesetzt, so war der Strahl weniger gut ausgebildet, offenbar weil von der Kathode ein wenn auch schwächerer, entgegengesetzt gerichteter Strahl ausgeht.

1) Siehe Zeitschr. f. Kryst. I. 469. Taf. XX Fig. 31c. 1877.
2) O. L., Wied. Ann. 11, 700, 1880.
3) Wiedemann, Elektrizität IV (2) S. 696, § 953.
4) Hertz, Wied. Ann. 19. 85, 1883.

Die auffälligsten Formen in Luft habe ich beobachtet bei folgender Versuchsanordnung: Die Glasröhre war 5 mm weit, 3 cm lang, ohne alle Verengung an der Mündung, die Luft war auf 10—20 mm Druck gebracht und wurde durch ein unter die Glocke der Luftpumpe gestelltes Schälchen mit Schwefel- oder Phosphorsäure gut trocken gehalten, eine grosse Flasche war eingeschaltet und der Glanz der Entladungen selbst dadurch abgeblendet, dass als äussere Elektrode ein über das Glasrohr gestülptes und dasselbe etwas überragendes Metallrohr benutzt wurde. Der Strahl zeigte sich unter diesen Bedingungen als ein baumartiges Gebilde, welches bis zu 12 cm Höhe zunahm, der dem Stamm entsprechende Theil schoss geradlinig auf eine Länge von 3—5 cm aus dem Rohre auf, während die Krone aus Flammen gebildet wurde, die lebhaft nach allen Seiten auseinander flatterten. . . . .

Nicht alle Theile des Strahles erscheinen gleichzeitig; die unteren leuchten schon, ehe die oberen beginnen; *die oberen sind sichtbar, nachdem die unteren schon erloschen sind*. . . . .

In Sauerstoff ist der Strahl sehr schön, sehr ähnlich demjenigen in Luft, jedoch die Färbung ein reineres Gelb. Die Erscheinung in Stickoxydul ist derjenigen in Sauerstoff fast gleich. In Stickstoff gelang es nur, sehr schwach sichtbare Strahlen herzustellen, die Färbung war am ehesten ein dunkles Roth. In Wasserstoff haben die Strahlen die beste Entwicklung bei ca. 100 mm Druck, qei Anwendung kräftiger rother Flaschenfunken, die Färbung ist ein schönes Indigoblau, die Lichtstärke nicht gross. Dagegen sind die räumlichen Dimensionen weit beträchtlicher, als in Luft, so dass selbst in einer Glasglocke von 20 cm Höhe der Strahl sich nicht frei entwickeln kann, sondern sich an der oberen Wölbung ausbreitet. In Dampf von Terpentinöl und Aether, sowie in Leuchtgas sind die Strahlen grünlichweiss, kurz, scharf gezeichnet. . . . .

Stellt man unter die Glocke der Luftpumpe eine Schale mit Schwefel- oder Phosphorsäure oder Chlorcalcium, so sieht man die Erscheinung an Deutlichkeit gewinnen, in dem Maasse, als die Luft trockener wird. Räthselhafter noch erscheint das Verhalten des Wasserstoffes. Füllte ich die Glocke mit demselben, so riefen die Entladungen des Ruhmkorffs nicht ohne Weiteres das Leuchten hervor, sondern Flaschenfunken waren hierzu erforderlich; war der Strahl indess einmal sichtbar geworden, so konnte er ohne die Einschaltung der Flasche unterhalten werden. Er dauerte aber nur einige Minuten an, dann erlosch er, ohne dass ich ihn wieder hervorrufen konnte. . . . . Ich würde das Leuchten auf Verunreinigungen schieben, wenn ich nicht glaubte, das Spektrum des ausgesandten Lichtes als ein Wasserstoffspektrum erkannt zu haben.“

Auf die Beziehung zur sogenannten „Aureole“ oder Lichthülle der Induktionsfunken geht *Hertz* nicht weiter ein. Er hielt offenbar die Erscheinung für eine davon prinzipiell verschiedene, was um so mehr berechtigt war, als nirgendwo in der Literatur eine Angabe darüber zu finden ist, dass rothes positives und blaues negatives Licht nicht die einzigen Bestandtheile der Gasentladung bilden, dass sich vielmehr die Strömung der Elektrizität zum Theil

auch ausserhalb dieser Lichtgebilde vollzieht und unter Umständen dort eine eigenartige, von den beiden genannten verschiedene Lichterscheinung hervorruft. Da dieselbe muthmaasslich das Entladungsgebiet darstellt, so werde ich sie in Uebereinstimmung mit der auf S. 82 gewählten Bezeichnung im Folgenden als eigentliche Aureole oder Aureole schlechthin benennen. Sie ist im Prinzip identisch mit dem bereits auf S. 241 beschriebenen Lichtgebilde, welches man gewöhnlich als Lichtbogen bezeichnet.[1])

Bei Anwendung horizontaler Elektroden besteht der Lichtbogen, wie besonders Fig. 150c zeigt, scheinbar aus zwei schief gegen einander gerichteten Flammen, welche bei grosser Spannungsdifferenz sehr beträchtliche Höhe erreichen können.[2]) Steigt der Strom in der einen Flamme bis zur Spitze in die Höhe und in der anderen wieder herunter und wie erklärt sich überhaupt die Entstehung dieser Flammen?

Nach Luggin[3]) besteht der Lichtbogen aus zwei verschiedenen Entladungsvorgängen, der eigentlichen in zwei hellen Punkten endigenden Entladung von hoher Stromdichte, dem Lichtbogenkern, welcher von einem dunkeln Gasmantel umgeben ist, und der Aureole.

Ersterer setzt sich zusammen aus zwei Büscheln von ungleicher Grösse und zwar ist der obere von der Anode ausgehende der mächtigere. Werden Salzdämpfe in den Lichtbogen gebracht, so schrumpft der blaue Anodenbüschel zusammen, der helle Fleck an der Anode verschwindet und die Aureole wird gegen die Anode hin offen.

Nach Crookes sollten die Flammen bei Wechselstrom-Lichtbogen von hoher Spannung brennender Stickstoff sein. Tesla spricht ebenso von wahren Flammen bei seinen Büschelentladungen. Auch S. P. Thompson[4]) schreibt: „Anstatt dass brennbare Stoffe vereinigt und mit einander so verbrannt werden, dass sie Hitze erzeugen, handelt es sich bei diesen Flammenbogen um Stoffe, die für gewöhnlich nicht beisammen brennen, nämlich um die beiden Bestandtheile der Luft — den Stickstoff und den Sauerstoff —, die aber durch Zufuhr von Hitze hier gezwungen werden, mit einander zu verbrennen. Das giebt eine Flamme, die Wärme festhält, im Gegensatz zu der gewöhnlichen Flamme, die Wärme ausgiebt. Wir erhalten also eine Flamme, die vom Strome Wärme aufnimmt, die geradezu mit Hitze genährt werden muss, um überhaupt bestehen zu können."

---

1) Lecher (1888) macht darauf aufmerksam, dass sich der Lichtbogen in der Mitte bedeutend weiter ausbreitet, als man gewöhnlich annimmt, wie man deutlich erkennt, wenn das Licht der Elektroden abgeblendet wird.

2) Gelegentlich der elektrotechn. Ausstellung in Frankfurt a. M. 1892 wurde z. B. durch den Vertreter der Firma Siemens & Halske ein Wechselstromlichtbogen demonstrirt, dessen Flammen eine Höhe von etwa 50 cm und mehr hatten. Bei Prüfung von Leitungsblitzableitern durch die Firma Siemens & Halske wurden bei 8000 Volt Spannung Lichtbogen bis zu drei Meter Höhe erhalten. Siehe Görges, elektrotechn. Zeitschr. **18**, 214, 1897.

3) Luggin, Wien. Sitzb. **98**, 1889 und Exn. Rep. **26**, 522.

4) S. P. Thompson, Zeitschr. f. Elektrochemie II, 573, 1896.

Dass diese Erklärung nicht zutreffend sein kann, lässt sich schon daraus schliessen, dass der Lichtbogen auch in anderen Gasen als Luft, ja sogar in chemisch einfachen Gasen hervorgerufen werden kann.

Auf diese Thatsache wurde ich erst durch eigene Untersuchungen aufmerksam, bei welchen, im Gegensatz zu den früheren, zur Elimination des Einflusses der Gefässwände sehr grosse Entladungsgefässe zur Anwendung gebracht wurden.[1])

Diese Gefässe waren die grössten im Handel zu erhaltenden tubulirten Luftpumpenrezipienten, von etwa 40 cm Durchmesser und 50 cm Höhe, oder auch ein gusseiserner Rezipient, dessen Inneres durch verschiedene Fenster aus Spiegelglas bequem betrachtet werden konnte und der den Glasrezipienten gegenüber den grossen Vorzug geringerer Zerbrechlichkeit hatte, allerdings auch den Nachtheil umständlicherer Handhabung. Die obere Wölbung der ersteren wurde durch ein innen angebrachtes Blech vor zu starker Erhitzung geschützt und die Aussenwand wurde nach jedem Versuch zur Abkühlung mit kaltem Wasser abgewaschen.

Zur Stromerzeugung diente eine magnetoelektrische Maschine, welche durch einen vier- bis fünfpferdigen Elektromotor angetrieben, Spannungen bis zu 2000 Volt und Stromstärken bis zu 5 Amp. zu liefern vermochte. Die Magnetschenkel derselben wurden mit Akkumulatorenstrom von 65 Volt gespeist. Zum Evakuiren der Rezipienten wurde eine mittelst Gasmotors betriebene Schieberluftpumpe mit angeschlossenen Windkesseln und zuweilen auch automatische Quecksilberluftpumpen benutzt. Der gewöhnlich angewandte Gasdruck betrug 4 — 10 mm Quecksilber.

Zur Untersuchung des Wechselstromlichtbogens diente eine vierpferdige Wechselstrommaschine von Helios, welche zur Speisung eines Transformators für 2000 Volt oder eines grossen Ruhmkorff'schen Funkeninduktors verwendet wurde. Letzterer konnte auch an einen Tesla-Transformator mit Luftisolation von 2 m Durchmesser und 32 cm Funkenlänge angeschlossen werden.

Um zu starke Erhitzung der Elektroden zu vermeiden, wurden als solche gewöhnlich 3 — 4 cm dicke cylindrische Klötze aus Kupfer, Messing oder Eisen verwendet, zuweilen auch Kohlenstäbe oder mittelst durchgeleiteten Wassers gekühlte Elektroden.

Die Luftpumpenteller waren mit Vorrichtungen zum Einführen von Stromleitungen zum Erhitzen von Porzellanschiffchen mit verdampfbaren Substanzen etc. versehen. Eine oder beide Elektroden waren beweglich und zwar konnte die obere während der Versuche mittelst einer über Rollen geführten Schnur bewegt werden.

Die Form der Aureole war bei senkrecht stehenden Elektroden etwa die in Taf. VI Fig. 3 dargestellte.

---

1) Der Irrthum findet sich deshalb auch noch in meiner Bearbeitung von Frick's phys. Technik, II, S. 539, 1895.

In reiner Luft war die Aureole gelbgrau und verlor sich bald, vermuthlich in Folge Umbildung des Sauerstoffs und Stickstoffs zu Untersalpetersäure und Absorption des Sauerstoffs durch Oxydation der Elektroden.

Wenn man der Luft etwas Jod- und Fettdampf beimischte, sah man die gewöhnliche Gasentladung von einer scharf begrenzten, grasgrünen Aureole umgeben, welche bei etwa 20 cm Elektrodendistanz, 3 Amp. Stromstärke und 400 Volt Spannung den ganzen 30 cm weiten Rezipienten ausfüllte.

Gegen die Mitte zu geht die Farbe der Aureole in rothgelb über und den axialen Theil bildet, wie beim gewöhnlichen Lichtbogen, rosafarbenes oder bläuliches positives Licht, welches geschichtet sein kann, wie in der Figur angedeutet, häufig aber auch ganz stetig verläuft, wie man bisher für den Lichtbogen allgemein angenommen hat.

Lässt man den Luftdruck zunehmen, so geht die Aureole stetig in die den Lichtbogen einhüllende Flammenerscheinung (S. 242 Fig. 150a—c) über.

42. Die Bewegung des Gases in der Aureole.

Betrachtet man einen gewöhnlichen horizontalen Lichtbogen, insbesondere einen solchen von beträchtlicher Grösse, so ist die erste Vermuthung, die sich jedem aufdrängt, die, es finde eine fortwährende Verdampfung der weissglühenden Elektrodenspitzen statt und die entstehenden Dampfströme bildeten die beiden schief gegen einander gerichteten Flammen des Lichtbogens, so dass also die Strömung des Gases ganz ähnlich derjenigen bei zwei gegen einander brennenden Gasflammen wäre. Man ist also geneigt anzunehmen, es gehe eine Gasströmung von den Spitzen aus und wende sich, durch das geringe spezifische Gewicht der heissen Luft veranlasst, mitten zwischen den Spitzen nach oben.

Nach von Breda[1]) findet thatsächlich eine solche Fortführung von Theilchen statt. „Die Fortführung geschieht nicht bloss wie in der Luft unter der Form einer Flamme oder eines sehr intensiven Lichts, sondern, wenn der Abstand nicht zu gross ist, werden die Theilchen in Form von Funken fortgeschleudert: die Materie kommt aus den Elektroden in rothglühenden glänzenden Kügelchen hervor, welche in Feuergarben gegen die Platte schiessen, die man zwischen die beiden Kugeln eingeschaltet hat.“ Aehnliche Ansichten sind von verschiedener Seite geäussert worden. (Vgl. S. 245.)

Meinen Versuchen zufolge spielt indess die Fortführung der Materie im Allgemeinen nur eine geringe Rolle und kann an sich die Flammenbildung beim Lichtbogen nicht erklären, um so weniger, als man diese auch bei verhältnissmässig sehr schwachen hochgespannten Strömen beobachtet, welche die Elektroden überhaupt nicht in merklicher Weise angreifen.

1) von Breda, Pogg. Ann. **70**, 329, 1846.

Bei starken Strömen beobachtet man allerdings in der Nähe der Elektroden eine Luftbewegung, welche auch in der schiefen Richtung der von Anode und Kathode ausgehenden Flammen zur Geltung kommt und nur durch die Dampfbildung erklärt werden kann.[1])

Man kann sich aber leicht durch die Bewegung der durch diese Luftströmung von den Elektroden fortgerissenen (z. Th. durch Kondensation des Kohledampfs entstandenen) feinen Kohlepartikelchen davon überzeugen, dass die Bewegung nur in der Nähe der Elektroden merklich ist und wahrscheinlich (wie schon auf S. 251 bemerkt) von einer Art elektrischem Wind begleitet wird.

Bei grösseren Lichtbogen, insbesondere im Vakuum, verläuft die Gasströmung in der Aureole dagegen vielmehr derart[2]) wie sie verlaufen müsste,

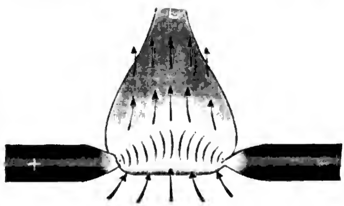


Fig. 168.

wenn die Elektrodenspitzen durch einen glühenden Draht verbunden wären, von dessen Oberfläche die Luft in Folge der Erhitzung überall senkrecht in die Höhe steigt, also etwa so, wie die Pfeile der Fig. 168 andeuten. Staubtheilchen, welche von der bewegten Luft mitgeführt werden und, in den Lichtbogen eintretend, mit hellem Lichte erglänzen und so ihren Weg deutlich erkennen lassen, ermöglichen, sich von dem Vorhandensein dieser Strömung ohne Weiteres zu überzeugen.

Dass in manchen Fällen, z. B. beim Fortblasen des Lichtbogens mittelst eines Magneten, der Lichtbogen sich in feine Fäden ähnlich einer Löthrohrflamme zuzuspitzen scheint, rührt hauptsächlich daher, dass Staubpartikelchen u. s. w., welche von der Luftströmung mitgerissen werden und im Lichtbogen in helles Glühen kommen, ihren Weg als leuchtende Linien verzeichnen und so den Eindruck scharfer Spitzen hervorbringen.

1) Aus der Menge des pro Sekunde verdampfenden Elektrodenmaterials, welches sich leicht experimentell bestimmen lässt und der Dampfdichte des betr. Stoffs lässt sich die Geschwindigkeit dieser Strömung berechnen und durch Kombination derselben mit der Geschwindigkeit des aufsteigenden Luftstroms nach dem Parallelogrammgesetz die Schiefe der Lichtbogenflammen.

2) O. L., Wied. Ann. **55**, 366, 1895.

Weit besser als bei dem Lichtbogen in Luft können wir uns über die Gasbewegungen orientiren bei dem Lichtbogen im Vakuum, speziell beim Einbringen von Jod- und Fettdämpfen in den Rezipienten und bei Verwendung massiver Kupferelektroden.

Die aufsteigenden Jod- und Fettdämpfe lassen sowohl den Weg der Gastheilchen deutlich erkennen, wie auch die Ausdehnung der Aureole des Lichtbogens, und bringt man ausserdem Rauch aus festen Partikelchen, z. B. von verbrennendem Wismuth, in den Rezipienten, so wird die Gasströmung so deutlich, dass man sie photographiren könnte.

Am klarsten werden die Verhältnisse wieder bei Anwendung eines horizontalen Lichtbogens, doch ist der Abwechslung halber in Taf. VI Fig. 3 die Strömung für einen vertikalen Lichtbogen dargestellt.

Man sieht, wie nach dem Vorigen zu erwarten, in der Achse des Rezipienten die heiss gewordene Luft aufsteigen und alsdann sich abkühlend an den Wänden des Rezipienten wieder herunterströmen, so dass sich in einer etwa auf halber Höhe des Rezipienten gelegenen Horizontalebene ein völlig unbeweglicher Wirbelring ausbildet, welcher bei Anwendung von Rauch (aus festen Partikelchen) ebenso aussieht, wie ein Rauchring aus Tabaksrauch in freier Luft.

Tritt ein Rauchfaden in das Gebiet der Aureole ein, so wird er dort sofort leuchtend und bleibt es bis zu seinem Austritt, wo er ebenso schnell wieder erlischt. Die Fettdämpfe bringen ein helles gelbes Licht hervor, ähnlich dem einer gewöhnlichen Flamme (in Folge der Ausscheidung von festem Kohlenstoff). Joddämpfe leuchten in blauem Lichte.

Die Aureole an sich ist schön grasgrün, vermuthlich in Folge der Bildung gasförmiger Kupferverbindungen. Der Durchmesser der Aureole hängt von der Elektrodendistanz ab und kann bis zu 40 cm betragen, so dass sich die Erscheinungen selbst aus der Entfernung deutlich beobachten lassen.

Beobachtungen bei Entladungen in Geissler'schen Röhren[1]) ergaben das Resultat, dass sich das Gas nicht bewegt. G. Wiedemann z. B. erhitzte eine Stelle einer Geissler'schen Röhre bis zur Bildung von Natriumdampf. Die Schichten daselbst wurden dann gelb gefärbt, indess breitete sich die gelbe Färbung nicht über die erhitzte Stelle hinaus aus.

H. Hertz[2]) erhitzte etwas Quecksilber in einer Geissler'schen Röhre, so dass der aufsteigende Dampf von Kathodenstrahlen getroffen wurde. Derselbe wurde durch diese zum Leuchten gebracht, blieb aber an der Stelle, wo er entstanden war.

F. Braun[3]) leitete den Strom durch eine Flamme, welche an einer Stelle durch eingebrachten Metalldampf gefärbt war. Es konnte keine Verschiebung desselben beobachtet werden.

---

1) G. Wiedemann, Elektrizität IV (1), 455, § 570.
2) H. Hertz, Wied. Ann. **19**, 807, 1883.
3) F. Braun, Wied. Ann. **3**, 436, 1878.

Warren de la Rue und H. Müller[1]) liessen den Strom einer Säule von 11000 Elementen durch ein elektrisches Ei gehen, welches durch eine durchbohrte isolirende Scheidewand in zwei Abtheilungen getheilt war. Beim Durchgang der Entladung zeigte sich keine Verschiedenheit der Druckzunahme in der einen oder anderen Abtheilung.

Zu anderen Ergebnissen führte allerdings die schon oben erwähnte Untersuchung von H. Hertz[2]) über Funken in gewöhnlicher Luft, welche ergab, dass die Aureole „Geschwindigkeitskomponenten in der Richtung der Strombahn" besitze,[3]) womit meine S. 251 erwähnten Beobachtungen über den elektrischen Wind in der Aureole übereinstimmen.

Auch Warburg[4]), welcher eine gelbe Aureole an der Kathode bei elektrolytischer Einführung von Natrium in die Vakuumröhren beobachtete, schloss, da dabei die Kathode sich oben im Entladungsgefäss befand, das Natrium aber unten an der als Anode dienenden Glaswand, dass ein Transport der Materie von der Anode zur Kathode, wie ihn schon Wächter[5]) bei Flaschenfunken beobachtet hatte, stattfinden müsse.

Vielleicht handelt es sich auch hier um elektrischen Wind, wie solcher schon oben als Ursache der Bildung der Metalldampfbüschel und der schiefen Richtung der Lichtbogenflamme angenommen wurde.

43. Die Stromlinien in der Aureole.

Die besprochenen Versuche scheinen zu beweisen, dass die Aureole keineswegs eine in Folge chemischer Zersetzung unabhängig von der Strombahn phosphoreszirende Gasmasse ist, dass vielmehr ihr Leuchten direkt durch den Strom veranlasst wird, so dass es nur da erscheint, wo auch Strom vorhanden ist und somit durch seine räumliche Ausdehnung die Ausbreitung der Stromlinien im Gase erkennen lässt.

Dass die Aureole nur während des Stromdurchganges leuchtet, können wir sofort konstatiren, wenn wir den Strom unterbrechen. Im gleichen Momente verschwindet auch die Aureole.[6]) Uebrigens ist die Ausführung dieses Versuches ganz unnöthig, da uns schon die Beobachtung der Strömungs-

1) Warren de la Rue und H. Müller, Proc. Roy. Soc. **29**, 281, 1880.

2) H. Hertz, Wied. Ann. **19**, 78, 1883.

3) O. L., Wied. Ann. **11**, 700, Fig. 45, 1880.

4) Warburg, Wied. Ann. **40**, 5, 1890.

5) Wächter, Wied. Ann. **17**, 926, 1882.

6) Zu diesem Versuche würde sich Wechselstrom eignen, oder pulsirender Gleichstrom, wie er durch Hintereinanderschaltung eines Transformators und eines Hochspannungsakkumulators erhalten werden kann. Zur Trennung der einzelnen Bilder könnte am besten ein synchron laufender Drehspiegel benutzt werden.

erscheinungen lehrt, dass jedes Gastheilchen in dem Momente, wo es in das Gebiet, welches als Aureole erscheint, eintritt, leuchtend wird und sein Leuchtvermögen sofort wieder verliert, sobald es die Aureole verlässt.

Wäre das Leuchten eine Folge chemischer Veränderung des Gases, so wäre ganz unverständlich, warum die Aureole den Kern der Entladung als geschlossene Hülle umgiebt, es könnten die Gastheilchen nur in der oberen Hälfte der Bahn leuchtend erscheinen, die Aureole müsste unten offen sein.

Immerhin wäre denkbar, dass wenigstens für sehr kurze Zeit ein Nachleuchten möglich wäre, dass also die obere Hälfte der Aureole gegen die Grenze der Entladung mehr oder weniger verschoben wäre.

Somit entsteht die weitere Frage, auf welche Weise kann man den Verlauf der Stromlinien innerhalb der Aureole feststellen?

Bekanntlich kann man das Vorhandensein und die Richtung eines Stromes am einfachsten mit der Magnetnadel prüfen. Auf diesem Wege glaubte H. Hertz[1]) festgestellt zu haben, dass aus der Form der Lichterscheinungen keinerlei Schluss auf den Verlauf der Stromlinien gezogen werden könne, dass das Leuchten des Gases vielmehr nur ein Phosphoresziren unter dem Einflusse der durch den Strom erregten Kathodenstrahlen sei, da die von ihm bestimmten Stromlinien auch nicht annähernde Uebereinstimmung mit der Form der Lichterscheinungen zeigten.

Auf die besprochenen Versuche angewendet, erscheint dieses Ergebniss der Hertz'schen Untersuchungen sehr sonderbar. Das negative Glimmlicht hat bei dem angewandten Drucke eine Dicke von etwa 2 mm, so dass gemäss der Hertz'schen Ansicht eine so starke Absorption der Kathodenstrahlen anzunehmen wäre, dass sie sich nicht merklich über 2 mm von der Elektrode entfernen könnten, also für den weiteren Verlauf der Entladung ganz ausser Betracht kämen. Gleiches gilt aber auch für die Hertz'schen Versuche selbst und Hertz fügte deshalb die Bemerkung hinzu: „d. h. von Strahlen, welche ihrer Natur nach identisch sind mit den Kathodenstrahlen. Der Name wird offenbar unpassend, wenn er auch die Strahlen der positiven Schichten umfassen soll."

Wir müssten demnach die Existenz weiterer (gekrümmter) Strahlen annehmen, welche bei unseren Versuchen augenscheinlich ganz oder nahezu den Verlauf der Stromlinien haben müssten. Wozu aber diese Komplikation?

Nach meiner Ansicht[2]) rührt die ganze Schwierigkeit daher, dass die von Hertz bestimmten Stromlinien nicht die wahren Stromlinien sind, und zwar aus zweierlei Gründen. Die Bestimmung der Stromlinien nach Hertz gründet sich auf einen Satz über die Beziehung der Stromlinien und Magnetkraftlinien, welcher im gegebenen Falle nicht zutreffend sein kann. Der Satz sagt aus, dass auf einer leitenden Platte die magnetischen Kraftlinien senkrecht stehen zu den Stromlinien, so dass sich diese konstruiren lassen, wenn erstere bekannt sind. Dieser Satz gilt aber nur für stationäre Ströme in homo-

1) H. Hertz, Wied. Ann. **19**, 782, 1883.

2) O. L., Wied. Ann. **22**, 338, 1884 und **55**, 373, 1895.

genen Platten. Wenn nun auch Hertz viele Beweise dafür beigebracht hat, dass Entladungen unter Umständen anscheinend kontinuirlich werden können, so dürfte bisher doch nur bewiesen sein, dass die Zahl der Intermittenzen eine sehr hohe, experimentell nicht mehr bestimmbare sein kann. Aber nehmen wir selbst an, dass die Strömung thatsächlich stationär sei, so könnte der Satz doch aus dem zweiten Grunde keine Anwendung finden, weil nach Hittorf für stationäre Ströme in Gasen der spezifische Widerstand der Stromdichte umgekehrt proportional ist und weil die Stromdichte, somit auch der spezifische Widerstand des Gases in dem von Hertz benutzten plattenförmigen Entladungsgefäss an verschiedenen Punkten jedenfalls ausserordentlich verschieden war. Aehnliches gilt für die besprochenen Versuche über die Aureole.

Die Ablenkung einer Magnetnadel wird also unmöglich dazu dienen können, den Stromverlauf in der Aureole festzustellen, weil die Stellung der Magnetnadel fast ausschliesslich durch den starken Strom in der Achse der Entladung bedingt wird und die schwachen Stromfäden, welche sich gegen die Grenze der Aureole abzweigen, kaum zur Geltung gelangen können.

Um nun in dieser Hinsicht Gewissheit zu erhalten, untersuchte ich die Temperaturvertheilung innerhalb und ausserhalb der Aureole.

Da das Ergebniss des Entladungsprozesses die Bildung von Wärme auf Kosten elektrischer Energie ist, muss sich überall da erhöhte Temperatur zeigen, wo Entladung wirklich stattfindet, während die übrigen Stellen sich unerheblich (nur durch Leitung und Strömung des Gases) erhitzen.

Ich habe deshalb ein Thermometer in den Rezipienten gestellt, so dass sich das Gefäss desselben zunächst ausserhalb der Aureole, aber dicht an deren Grenze befand. Die Temperatur stieg nur ganz langsam und wenig. Wurde es nun aber in den äussersten Saum der Aureole hineingerückt oder wurde diese durch Annäherung eines Magneten mit dem Thermometergefäss in Berührung gebracht, so stieg die Quecksilbersäule rapid und würde vermuthlich eine Höhe von etwa 400° erreicht haben, wenn die Skala (dieselbe reichte nur bis 360°) hinreichend ausgedehnt gewesen wäre. Dass die Temperatur nicht höher war, schliesse ich daraus, dass das Thermometer bei längerem Verweilen in der Aureole keinen Schaden nahm.

Allerdings gilt diese Temperatur von 400° nur für die äusserste Grenze der Aureole. Im Innern derselben sind wesentlich höhere Temperaturen vorhanden, wie ich durch Einbringen einer an einem Glasstabe befestigten Asbestfaser erkennen konnte. Schon etwa 3 cm vom Rande der Aureole kam die Faser deutlich zum Glühen und der Grad des Glühens wurde um so intensiver, je weiter dieselbe gegen die Achse der Entladung vorgeschoben wurde. Im achsialen Theil ist die Hitze so gross, dass Asbest geschmolzen wird, Glas zum Kochen kommt und alle Metalle sich verflüchtigen. Diesen Wärmegraden entspricht auch die rasche Erhitzung der grossen Rezipienten, welche trotz ihrer Masse und ihrer grossen Oberfläche schon nach wenigen Minuten wieder mit Wasser gekühlt werden mussten.

Durch diese Versuche scheint mir sicher gestellt, einestheils, dass die Aureole thatsächlich von Stromlinien erfüllt ist und anderentheils, dass sie auch wirklich sämmtliche Stromlinien in sich enthält.

Allerdings ist nicht in allen Fällen die Entscheidung so einfach, wie bei dem besprochenen Falle, in welchem die Elektroden dicke Kupferklötze und das Gas ein Gemisch von Luft mit Jod und dampfförmigem Talg war. Lässt man z. B. den Talg fort, so dass nur Luft mit Joddämpfen gemischt den Rezipienten erfüllt, so ist die grüne Aureole weniger hell und weniger ausgedehnt, es zeigt sich aber ausserhalb derselben, scharf durch eine ganz dünne dunkele Schicht davon abgegrenzt, eine neue, intensiv blaue Aureole, deren Licht nicht wie das der grünen nach aussen hin intensiver wird und dann an einer scharf gezeichneten Fläche aufhört, sondern sich nach und nach verliert, so dass man nicht genau angeben kann, wo die eigentliche Grenze ist. Die Temperatur dieser blauen Hülle ergab sich zu etwa 250°. Durch den Magneten wurde sie ebenso beeinflusst wie die grüne, sie ist also gleichfalls von Stromlinien durchsetzt. Die niedrige Temperatur spricht dagegen, dass sie glühender Joddampf sei; die Ablenkung durch den Magneten beweist, dass das Licht kein durch Strahlen hervorgebrachtes Fluoreszenzlicht ist. Die einzige befriedigende Erklärung für das Auftreten dieser verschiedenfarbigen Schichten erhalten wir, wenn wir annehmen, die Flächen gleicher Färbung seien Flächen gleicher Temperatur oder isotherme Flächen.[1])

Da das Leuchten durch den Strom hervorgerufen wird und kein Glühen, sondern ein durch den Strom bedingtes Phosphoresziren ist, kann man allerdings vermuthen, dass in erster Linie die Stromdichte für die Färbung maassgebend sein werde. Insofern indess die Wärmeentwickelung pro Raumeinheit der Stromdichte (nicht dem Quadrate der Stromstärke) proportional ist, dürften die Flächen gleicher Temperatur und gleicher Stromdichte nahezu zusammenfallen. Erstere werden etwas mehr nach oben ausgebogen sein.

Zweckmässiger als durch die Färbung lassen sich einzelne Temperaturflächen beobachten durch das Unsichtbarwerden von Dunstkügelchen in heissen Regionen (in Folge von Verdampfung) und durch das Sichtbarwerden von Oeldämpfen in Folge der Ausscheidung von Russ.

Ich brachte zu diesem Zwecke über dem Luftpumpenteller ein mit Oel gefülltes Porzellanschiffchen an, welches durch eine galvanisch glühende Eisendrahtspirale erhitzt werden konnte und zur Absonderung einzelner Dunstfäden mit einem gitterartig durchbrochenen Deckel aus Asbest bedeckt wurde. Einfacher kann man auch eine dünne Elektrode verwenden, welche in einen Napf mit Oel eingesetzt ist und durch ihre eigene Wärme das Oel verdampft, auch

1) Beim gewöhnlichen Lichtbogen (Fig. 150) ist die Aureole grün oder rothgelb, der (von einem dunklen Mantel umschlossene) Kern (positiver und negativer Büschel) rosa bis lila und häufig zeigt sich an der Kathode in der Achse dieses Kerns noch ein innerer dünner Büschel von weisslicher Farbe, umgeben von bläulichem Licht (Fig. 150a).

kann man eine dickere Elektrode napfartig aushöhlen und die Höhlung mit Talg ausgiessen.

Die Fläche, an welcher die aufsteigenden Dunstfäden verschwinden, ist die der Siedetemperatur des Oels entsprechende Fläche. Dieselbe liegt nahe der Grenze der Aureole, ausserhalb derselben. Die Fläche, an welcher die Dunstfäden als hellleuchtende gelbe Streifen wieder zum Vorschein kommen, in der Nähe der Grenze der rothgelben Lichtmasse gelegen, ist der geometrische Ort der Punkte, an welchen die Zersetzungstemperatur des Oels herrscht. Es scheidet sich hier, ebenso wie in einer Oel- oder Kerzenflamme, aus dem Kohlenwasserstoff fein zertheilter Kohlenstoff aus, welcher zur hellen Gelb- oder Weissgluth kommt.

Noch weiter aufsteigend verschwinden die Fäden wieder, da die fein zertheilten Kohlepartikelchen verdampfen, und erst beim Verlassen dieses Gebietes hoher Temperatur kommen sie von neuem als gelb leuchtende Streifen

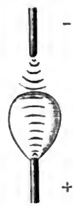


Fig. 169.

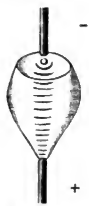


Fig. 170.

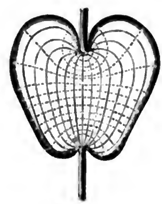


Fig. 171.

zum Vorschein, welche entweder zu farblosem Gas sich zurückbilden (oder verbrennen) oder aber weiterhin als schwarze Rauchstreifen ihren Weg fortsetzen, welche, in die Nähe der Wände des Rezipienten kommend, offenbar in Folge elektrischer Ladung, von diesen angezogen werden und sich in Form scharf begrenzter, genau ihren Querschnitt darstellender, schwarzer Russflecke niederschlagen. Dieser Russ ist manchmal feinpulverig oder körnig, besteht aber auch zuweilen, z. B. bei Anwendung von Naphtalin, aus verhältnissmässig harten Fäden.

Wird der Oeldampf der Entladung nicht in einzelnen Streifen, sondern in zusammenhängendem Strom zugeführt, so erscheint im Entladungsraume eine Art Flamme, welche auf den ersten Blick viel Aehnlichkeit mit einer gewöhnlichen, mehr oder minder rauchenden, leuchtenden Kerzenflamme hat.

Die nähere Beobachtung zeigt, dass die Flamme hohl ist und bei geringer Stromstärke einen an die positive Elektrode sich anschliessenden gegeschlossenen Sack darstellt, der von der negativen Elektrode durch einen mehr oder minder breiten Zwischenraum getrennt ist (Fig. 169). Das Auftreten dieses Sackes beweist, dass die Temperatur in der Achse der Entladung keineswegs gleichmässig ist, dass vielmehr in der Nähe der Kathode, etwa da,

wo der dunkle Raum sich befindet, die Temperatur niedriger ist und dass dieses Gebiet niedriger Temperatur die ganze positive Lichtsäule in sich schliesst.

Bei vergrösserter Stromstärke nähert sich das geschlossene Ende des Sackes der Kathode und erhält ein Loch (Fig. 170). Offenbar wird nun durch die von unten aufsteigende oder die Kathode umgebende heisse Luft die Kondensation des Kohlenstoffs unmöglich gemacht.

Alle diese Versuche weisen darauf hin, dass der Verlauf der Stromlinien in der Aureole der in Fig. 171 gezeichnete ist, welche man leicht erhält unter Berücksichtigung des Umstandes, dass die äussersten Stromlinien der Oberfläche nahezu parallel sein müssen und die folgenden wieder den vorhergehenden, da sie sich eng anschmiegen müssen und dieselben nirgendwo schneiden dürfen.

Eigenthümlich erscheint allerdings der Umstand, dass sich die Aureole mehrere Centimeter hoch dicht an der oberen Elektrode hinaufzieht und dass sie beim gewöhnlichen Lichtbogen zuweilen die Form einer hoch aufflackernden, spitzen Flamme annehmen kann, so dass es schwer hält sich vorzustellen, dass in dieser Flamme der Strom auf der einen Seite hinauf-, auf der anderen hinuntersteigt.

Geht man aber von möglichst niedrigen Spannungen zu immer höheren über, so erkennt man leicht, dass sich die Aureole um so mehr in die Höhe zieht, je grösser die Stromarbeit, d. h. die erzeugte Temperatur des Gases, dass also die gute Leitungsfähigkeit des stark erhitzten Gases den Strom nöthigt der aufsteigenden heissen Luft nachzugehen und ebenso komplizirte Wege zu beschreiben, wie wir sie ihm durch beliebig geknickte und verbogene Drähte aufzwingen können. Wie hiernach zu erwarten, ändert sich thatsächlich auch nichts an der Form der Aureole, wenn wir die obere Elektrode mit Glas umhüllen bis auf die Endfläche, sodass sicherlich nur aus dieser Strom austreten kann und nicht etwa Strom aus den Seitenflächen der Elektrode in die scheinbar dicht anliegende Aureole übergeht.

44. Die Schichtung.

Eine höchst eigenthümliche Erscheinung, welche sich sowohl bei der gewöhnlichen Gasentladung, wie auch bei der Metall(dampf)entladung (Funken- oder Lichtbogenentladung) geltend macht, ist das Zerfallen des Büschellichts in mehr oder minder zahlreiche, zuweilen sehr scharf abgegrenzte helle und dunkle Schichten.

Fälle dieser Art, welche ich selbst bei Versuchen in verdünnten Gasen (3—10 mm Druck) in weiten Rezipienten bei Spannungen bis 2000 Volt und Stromstärken bis 5 Amp. beobachtet habe, stellen z. B. die Figg. 172 Nr. 24 u. 28

für Lichtbogen dar.[1]) Beispiele geschichteter Gasentladungen unter gleichen Verhältnissen sind in den Figg. 173 Nr. 14—19 und Uebergangsformen in der Figg. 174 Nr. 31—33 dargestellt. (Vgl. auch S. 9—17, Taf. I u. III.)

Der erste, welcher Schichtungen beobachtete, war Abria.[2]) Besonders deutlich beobachtete dieselben später Grove.[3])

Bei Studien über den thermoelektrischen Einfluss der Induktionsströme auf Metallplatten brachte er Phosphordampf unter den Rezipienten der Luftpumpe, in welchem er die Entladungen eines Ruhmkorff'schen Induktionsapparates übergehen liess, und beobachtete nun, dass der Rezipient statt mit homogenem Lichte, welches bis dahin allein bekannt war, sich mit in helle und dunkle Schichten getheiltem Lichte erfüllte.

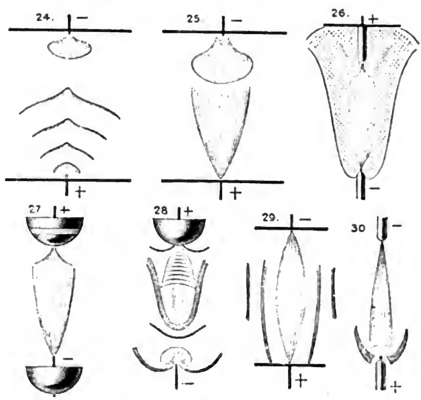


Fig. 172.

Fast gleichzeitig mit Grove beobachtete auch Ruhmkorff in Paris selbst die Erscheinung bei einem elektrischen Ei, in welches etwas Alkohol eingebracht worden war. Quet[4]), Professor am St. Louis-Kollege in Paris, sah diese Experimente bei Ruhmkorff und stellte nun eigene Untersuchungen über die Erscheinung an, welche ihn zu der Ansicht führten, jede Schicht entspreche einer Hammerbewegung des Induktionsapparates, so dass man dieselben einzeln erhalten müsste, wenn man den Hammer hinreichend langsam bewegt.

1) O. L., Zeitschr. f. phys. Chem. **18**, 107, 1895.
2) Abria, Ann. Chim. Phys. (3) **7**, 462, 1843.
3) Grove, Trans. Roy. Soc. I, 100, 1852.
4) Quet, C. R. **35**, 949, 1852, Pogg. Ann. Erg. Bd. **4**, 507, und Dingl. J. **132**, 74, 1854.

Grove[1]) meint dagegen, die Schichten beruhten auf einer Interferenzerscheinung, „bei der die Coïncidenz von positiven und negativen Entladungsphasen an gewissen Punkten eine wechselseitige Neutralisation hervorbringt."

Später zog Quet seine Ansicht wieder zurück und ersetzte sie in Gemeinschaft mit Seguin[2]) durch eine neue, welcher zufolge die Schichtungen auf Eintheilung des Gases in positive und negative Schichten beruhen sollten.

Gaugain[3]) erhielt die Schichtung besonders gut in einem elektrischen Ei, welches etwas Terpentinöl enthielt. Nach seiner Ansicht beruht die Bildung der Schichten auf Sonderung des Gases in besser und schlechter leitende Schichten.

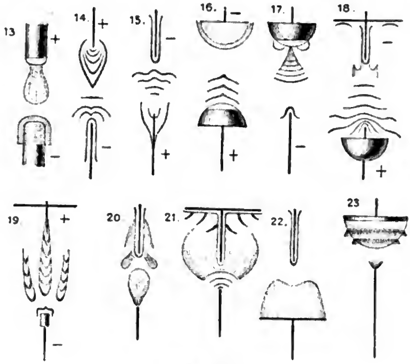


Fig. 173.

Plücker[4]) ist der Ansicht, dass „die verschiedene Helligkeit des Lichtes und das gänzliche Erlöschen desselben in einer verschiedenen Ansammlung der ponderabeln Materie seinen Grund habe."

Geschichtete Lichtbogenentladung im Vakuum beobachtete bereits Gassiot.[5]) Die Schichten haben nach ihm die Form eines Kegels, dessen Scheitel gegen den negativen Pol gerichtet ist. Sie verändern sich mit der Spannung so regelmässig, dass sie den Grad derselben ebenso anzeigen, wie die Goldblätter eines Elektroskops.

1) Grove, Pogg. Ann. **93**, 593, 1854.

2) Quet und Seguin, Fortschr. d. Phys. **17**, 505, 1861.

3) Gaugain, Pogg. Ann. **95**, 493, 1855. Dieselbe Annahme macht Reitlinger, Wien. Ber. **43**, II, 21.

4) Plücker, Pogg. Ann. **107**, 89, 1859.

5) Gassiot, Pogg. Ann. **119**, 135, 1863.

Nach A. de la Rive[1]) sind die Schichten ringförmig, wenigstens beobachtete er solche bei einem Rohr, durch welches man der Länge nach hindurchsehen konnte. Liess man eine kleine Menge Gas eintreten, so sah man die Schichten von der Stelle aus, wo das Gas eingetreten, langsam sich ändern, nach und nach stellte sich aber der frühere Zustand wieder her. Er ist deshalb der Ansicht, die Schichtenbildung beruhe auf Verdichtungen und Verdünnungen des Gases, die verdichteten Schichten seien die leuchtenden.

Nach Neureneuf[2]) beruht die Entstehung der Schichten auf Bildung stehender Schallwellen, was auf das Gleiche hinauskommt.

Yvon Zoch[3]) vergleicht die Schichtungen mit den Schichtungen von Bronzepulver in einer 10—30 cm langen, 1—3 cm weiten, an den Enden

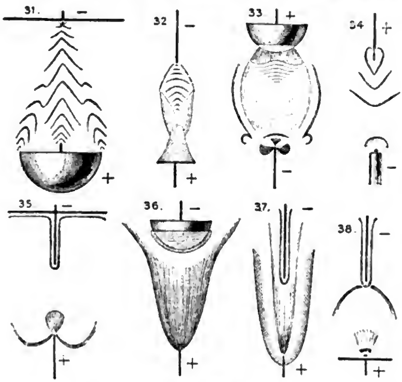


Fig. 174.

mit drahtförmigen Elektroden versehenen, mit Luft von gewöhnlicher Dichte gefüllten Röhre, welche entstehen, wenn die eine Elektrode mit der Elektrisirmaschine, die andere mit einer Spitze verbunden wird.

Er nimmt deshalb, wie de la Rive, an, dass die Schichtung auf Luftverdichtung beruht, doch sollen die Verdünnungsschichten, nicht die verdichteten, die leuchtenden sein.

Spottiswoode und Moulton[4]) fassen die hellen Schichten auf als Orte, wo die Materie in grösseren Mengen angehäuft ist, als in den dunkeln Zwischenräumen. Ebenso Bückmann.[5])

1) A. de la Rive, Pogg. Ann. **131**, 455, 1867.
2) Neureneuf, C. R. **82**, 733, 1876.
3) Yvon Zoch, Beibl. **4**, 741, 1880.
4) Spottiswoode und Moulton, Proc. Roy. Soc. Lond. **32**, 385, 1881.
5) Bückmann, Beibl. **6**, 256, 1881.

In Wirklichkeit kann keine dieser Annahmen zutreffend sein, da sich die Schichten auch schon bei einer einzelnen sehr kurz dauernden Entladung zeigen, ja selbst bei sehr rasch alternirenden Wechselströmen, wobei sie dann, da sie ihre konvexe Seite abwechselnd nach rechts und links wenden, je nach der Richtung des Stromes X-förmige Gestalt zu haben scheinen, falls man zur Beobachtung nicht den Drehspiegel verwendet; endlich entstehen sie selbst bei anscheinend völlig konstanten Strömen, wie sie eine Akkumulatorenbatterie liefert, wobei zur Entstehung von Schallwellen oder Sonderung des Gases in verschieden gutleitende Schichten nicht der geringste Anlass vorliegt.

Hittorf, Goldstein, von Waha (1880) u. A. beobachteten, dass mit zunehmender Entfernung der Elektroden immer mehr Schichten aus der Anode herauskommen, während das Glimmlicht an der Kathode unverändert bleibt.

Nähert man umgekehrt die Elektroden, so ziehen sich die Schichten wieder in die Anode zurück, gerade als ob die Lichterscheinung an der Kathode befestigt wäre und in die Anode (wie in eine Röhre) hineingeschoben würde.

Dieses Verhalten erklärt sich ohne Weiteres, wenn man annimmt, dass die Schichten das negative Büschellicht ausmachen, welches, wie bereits S. 4 erwähnt wurde, gewissermaassen fest mit der Kathode verbunden ist. Wenn man also die Lichtsäule in Geissler'schen Röhren als positive bezeichnet, so ist dies insofern nicht richtig, als sie nichts anderes als eine besondere Form des negativen Büschels ist. Der positive fehlt ganz.

Nach Goldstein (1876) braucht sich die Schichtung nicht auf die ganze Säule des positiven Lichts zu erstrecken. Sie ist unter sonst gleichen Umständen desto schärfer und besser ausgebildet, je näher die betreffende Stelle dem negativen Ende des positiven Lichtes liegt.

Nach einer von mir selbst aufgestellten Hypothese [1]) ist die Schichtenbildung nichts anderes, als eine Wiederholung der Bildung des Trennungsraumes. Es kann der Fall eintreten, dass z. B. infolge allzureichlicher Anhäufung elektrischer Luft die Zufuhr der Elektrizität nicht ausreichend ist, um das negative Büschellicht zur Anode fortzusetzen, so dass also Stillstand des leuchtenden Entladungsprozesses und Bildung einer elektrischen Luftwolke stattfindet, bis die Entladung von Neuem beginnt, die elektrische Luftwolke überspringend, so dass in letzterer nur konvektive Ausgleichung der Elektrizität stattfinden kann.

Im Grunde genommen wäre hiernach die Schichtenbildung auf dem Gebiete elektrischer Entladungen dasselbe, wie die Erzeugung von Saitenschwingungen durch Streichen mittelst des Violinbogens auf akustischem Gebiete (die Entladung hält ein: die Saite ist gespannt — die Entladung beginnt wieder: die Saite schnellt zurück).

Hiermit scheinen die nachfolgenden Beobachtungen von Goldstein (1876) in guter Uebereinstimmung zu stehen:

---

1) O. L., Wied. Ann. 22, 340, 1884.

„Die Helligkeit der einzelnen Schichten ist keine gleichmässige, auch nicht zur Richtung der Entladung symmetrisch. Vielmehr hat jede Schicht nahe ihrer negativen Begrenzung ein Helligkeitsmaximum, von dem aus die Intensität nach der positiven Seite allmählich — desto langsamer, je länger die Schicht ist — abnimmt.

Ausser der Asymmetrie in der Helligkeit und der geometrischen Form zeigen verschiedene Theile einer und derselben Schicht oft selbst ungleiche Färbung; abgesehen von verschiedenen Nüancen und Sättigungsgraden einer und derselben Farbe treten nicht selten auch ganz verschiedene, im auffallendsten Kontraste stehende Farben auf, welche dann in senkrecht zur Entladungsrichtung gelagerten Zonen der Schicht auf einander folgen: so z. B. roth und blau, gelb und blau u. dgl. mehr. Selbst mehr als zwei Farben kann eine einzelne Schicht zugleich zeigen.[1])

Jede einzelne Schicht des positiven Lichtes ist ein dem früher sogenannten negativen oder Kathodenlichte entsprechendes Gebilde, und das geschichtete positive Licht besteht eigentlich aus einer Aufeinanderfolge von Komplexen negativen Lichtes."

An einer andern Stelle äussert sich Goldstein[2]):

„Das Kathodenlicht, jedes Büschel von sekundärem[3]) negativen Licht, sowie jede einzelne Schicht des positiven Lichts stellen jedes für sich einen besonderen Strom dar, der an dem der Kathode zugewandten Theile jedes Gebildes beginnt und am Ende der negativen Strahlen, bez. der Schichtkörper schliesst, ohne dass der in einem Gebilde fliessende Strom sich im nächsten fortsetzt, resp. ohne dass die Elektrizität, welche durch eines fliesst, auch der Reihe nach in die andere eintritt."

Diese Annahme setzt stillschweigend voraus, dass die Entladungen stets intermittirend seien, denn ein stetiger Strom läuft stets in sich zurück und hat überall dieselbe Stärke.

In der That kann die Hypothese der kontinuirlichen Gasentladungen für das Auftreten der Schichten keinerlei Grund angeben. Es erscheint geradezu unverständlich, weshalb ein Stromfaden an einer Stelle Licht erzeugen soll, während eine andere genau ebenso beschaffene Stelle des Gases[4]) bei derselben Stromdichtigkeit dunkel bleibt.

Dies war für mich ein Hauptgrund, an der alten Faraday'schen Auffassung von der intermittirenden Natur der Entladung festzuhalten.

Ich nehme deshalb an, dass die Entladung beim Beginn nicht momentan im ganzen Gebiete auftritt, sondern zunächst da, wo das Potentialgefälle zuerst den Werth des Entladungsgradienten erreicht.

---

1) Vgl. auch die Tafeln in W. H. Th. Meyer, Beobachtungen über das geschichtete Licht, Berlin, Springer, 1858.

2) Goldstein, Wied. Ann. **11**, 884, 1880.

3) Solches entsteht durch Ableitung der Rohrwand in Folge der dadurch in der Gasmasse hervorgerufenen Influenz.

4) Das Gas befindet sich nach Obigem (S. 286) in beständiger langsamer Strömung.

Der Einfachheit halber sei vorausgesetzt, dass die Entladung von einer zugespitzten Elektrode *A* (Fig. 175) auf eine sehr grosse mit der Erde in Verbindung stehende leitende Wand *B* übergehe.

Vor Beginn der Entladung möge die Potentialvertheilung auf der Elektrode und zwischen derselben und der Wand die durch die Kurve *abcd* dargestellte sein. Tritt nun die Entladung ein, so verschwinden in dem glimmenden Theil des Gases die Kraftlinien, derselbe bildet gewissermaassen eine metallische Verlängerung der Elektrode, das Potential wird in ihm konstant und dasselbe, wie auf der Spitze, aber etwas kleiner als der anfängliche Werth daselbst; die plötzliche Verminderung des Potentials an der Spitze schreitet als elektrische Welle mit Lichtgeschwindigkeit längs der Drahtleitung fort; im Gase tritt alsbald Stillstand der Entladung ein, da das Potentialgefälle verschwunden ist. Die Schicht des Gases, in welcher die Entladung ein Ende genommen, hat indess gleiche Elektrisirung wie die Elektrode angenommen

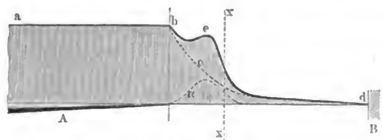


Fig. 175.

(Kurve α), so dass nach Wiederherstellung gleichmässiger Potentialvertheilung auf letzterer die Form der Potentialkurve nunmehr die in Fig. 175 *abed* dargestellt wäre.[1])

Die Folge wird sein, dass jetzt die Entladung nicht mehr dicht an der Elektrode, sondern ausserhalb der elektrischen Luftschicht eintritt. War letztere positiv, so bewegen sich positive Atome gegen die Wand zu, negative wandern in die Luftschicht und gleichen ihre Elektrizität mit den dort befindlichen positiv elektrischen Atomen aus, die Luftschicht zum Leuchten erregend.

Die gegen die Wand forteilenden positiv elektrischen Atome bilden eine neue elektrische Luftschicht, welche, ehe sie merklich von der Stelle gekommen, eine dritte Partialentladung, also die Bildung einer dritten leuchtenden Schicht, bedingt u. s. w., bis schliesslich nach vielen ähnlichen Unterbrechungen die Wand erreicht ist, wo die zuletzt übrig gebliebenen elektrischen Atome ihre Ladung gegen die dort vorhandene negative Ladung ausgleichen können.

Am einfachsten kann man sich diese Verhältnisse klar machen, wenn man die leuchtenden Schichten durch elektrodenlose Vakuumröhren ersetzt denkt. Steigt die Spannungsdifferenz, so wird zunächst die erste Kugel aufleuchten, indem in ihr Influenz eintritt, wie in einem isolirten metallischen Leiter; dadurch wird aber das elektrische Feld derart geändert, dass nun auch

1) O. L., Wied. Ann. 22, 335, 1884 und Elektrizität und Licht, 320, 1895.

in der zweiten Entladung eintreten muss, und diese wird wieder Entladung in der dritten veranlassen u. s. w. Die zugewandten Seiten der Glasgefässe werden hierdurch entgegengesetzt elektrisch werden. Man denke sich nun das Glas etwas leitend und die Zwischenräume der Glasgefässe durch schlecht leitende Stoffe überbrückt. Nach einiger Zeit werden sich die entgegengesetzten Ladungen ausgeglichen haben und es kann, falls die Spannung auf dem Konduktor konstant gehalten wird, von neuem Entladung eintreten. In regelmässigen Pausen wird sich dieser Vorgang wiederholen und dabei stellt jede Entladung in einer Kugel eine gesonderte Partialentladung dar.[1])

Die Schichten entstehen vermuthlich nicht sofort in ihrer vollen Ausdehnung, sind vielmehr zunächst nur als leuchtende Punkte auf der Linie grössten Potentialgefälles vorhanden, indess wird jede folgende Entladung, da durch die Entladungswärme die elektrische Festigkeit des Gases vermindert wird, sich weiter seitlich ausbreiten und, da die Energie, dem Poynting'schen Satz zufolge, längs den Niveauflächen zuströmt, werden die Schichten die Form der Niveauflächen annehmen, in gleicher Weise, wie ein wachsender Krystall sich am stärksten nach den Richtungen vergrössert, aus welchen ihm das meiste krystallisirbare Material zuströmt. Schliesslich wird eine Grenze erreicht, die Grenze der Aureole, wo das verminderte Potentialgefälle (trotz der gleichzeitigen Verminderung der elektrischen Festigkeit des Gases) nicht mehr ausreicht, Entladung zu bewirken.

Alle diese Vorgänge vollziehen sich natürlich fast momentan, da die Entladung bei der Kürze der Zeit zwischen zwei Pulsationen bei der scheinbar stetigen Entladung sich beschränkt auf die an der Elektrodenoberfläche angehäuften, wahrscheinlich überhaupt nur auf die auf der Basis innerhalb der Aureole befindlichen Elektrizitätsmengen, so dass in Folge des fast vollständigen Zusammenfallens von Stromlinien und Kraftlinien (Linien der dielektrischen Rückverschiebung) nahezu keine verzögernde Selbstinduktion auftritt. (Vgl. weiter unten und S. 171 Fig. 126.)

Den Entladungsprozess hätte man sich nun gemäss dem bisher erzielten Ergebnisse vermuthlich so zu denken, dass zunächst unmittelbar an der Oberfläche der Elektroden nicht wahrnehmbare Entladung eintritt, durch welche die Kathode mit einer positiven Lufthülle umgeben wird, welche das Potentialgefälle daselbst vermindert.[2]) Die eigentliche Entladung erfolgt erst, wenn an dieser Luftschicht der Entladungsgradient erreicht wird. Sie erzeugt eine unsichtbar fortschreitende negative elektrische Welle — die Grenze des jeweils von der Entladung durchsetzten Raumes — welche, an der Anode anlangend, daselbst ebenfalls Entladung in Form des positiven Glimmlichtes erzeugt. Sodann erfolgt eine Entladung der Kathode in Form des Büschellichtes, welche die positive Luftschicht an der Kathode wieder herstellt, welcher dann von der Anode her positives Büschellicht entgegen kommt.

1) Vgl. O. Lehmann, Wied. Ann. **56**, 345, 1895.

2) Vgl. Fig. 121, S. 164.

Der Umstand, dass die Schichten des Büschellichtes beim Verschieben der Anode stehen bleiben, dagegen beim Verschieben der Kathode sich mit verschieben, als ob sie an dieser auf unsichtbare Weise befestigt wären, lässt erkennen, dass die Veranlassung zur Bildung der Schichten von der Kathode ausgeht. Sie sind Stockungen im Entladungsvorgang, hervorgerufen durch Schwingungen in der Kathode, welche durch die plötzlich auftretende disruptive Entladung entstanden waren und sich in Folge des fortgesetzten Energiezuflusses erhalten. Jede Stockung erzeugt eine negativ elektrische Luftschicht, an welche sich bei der darauf folgenden Büschellicht-Entladung eine positive anlagert. Die hellen Schichten sind also an ihren beiden Grenzflächen, da, wo die beiden Entladungsvorgänge ein Ende nehmen, entgegengesetzt elektrisch geladen und der Ausgleich dieser elektrischen Ladungen kann nur auf konvektivem Wege geschehen.

Wie viel Wärme bei diesem konvektiven Ausgleich entsteht, ergiebt sich einfach aus der Formel für die Entladungswärme eines Kondensators, da es gleichgültig ist, auf welchem Wege die angehäufte elektrische Energie in Wärme übergeht.

Berücksichtigen wir nun, dass pro Sekunde durch die dunkeln Schichten ebensoviel Elektrizität hindurch gehen muss, wie durch die hellen, so kommen wir scheinbar zu dem Resultat, dass auch die in den dunkeln Schichten entwickelte Wärmemenge und somit auch die Temperatur ebenso gross sein muss wie in den leuchtenden, wenn nicht grösser, insofern in letzteren in Folge der thatsächlich höheren Temperatur das Potentialgefälle geringer ist.

Dieses Ergebniss steht augenscheinlich mit den Thatsachen im Widerspruch. Die Schwierigkeit verschwindet aber, wenn wir bedenken, dafs der konvektive Ausgleich der Ladungen nicht nothwendig in der betreffenden dunkeln Schicht selbst stattfinden muss, an deren Grenzen die Ladungen entstanden sind. Die Erscheinungen des elektrischen Windes lassen vielmehr erkennen,[1] dass sich die von Anode und Kathode ausgehenden elektrisirten Luftströme ebenso, ohne sich ihre Ladungen zu entziehen, durchdringen, wie die Ionenströme in einem Elektrolyten.

Dasselbe wird bei den an den dunkeln Schichten elektrisirten Gasatomen der Fall sein. Sie werden sich, getrieben durch die Kraft des elektrischen Feldes, langsam gegen die Elektroden zu bewegen, soweit ihnen nicht in den hellen Schichten durch den Entladungsvorgang ihre Ladung sofort wieder genommen wird, und werden, an den Elektroden angelangt, ihre Ladung an diese abgeben, dabei positives und negatives Glimmlicht erzeugend, wie wenn die zwischenliegenden Schichten nicht vorhanden wären.

Prüfung der Theorie wird bis zum gewissen Grade durch Beobachtung der Potentialvertheilung und der Temperatur in den hellen und dunkeln Schichten möglich sein.

---

1) O. Lehmann, Elektrizität und Licht, S. 313, § 179.

De la Rive[1]) glaubte aus Versuchen über Abzweigung eines Stromes aus dem dunklen Trennungsraum schliessen zu können, dass dort der Widerstand geringer, also das Gas verdünnter sei. In der That fand er beim Einbringen von Quecksilber-Thermometern geringere Temperaturerhöhung im dunkeln Raum als in der positiven Lichtsäule.

Er schätzt die Temperatur sehr hoch, da ein Thermometer, dessen Behälter einen Quecksilbercylinder von 2,50 mm Durchmesser und 3 cm Länge fasste, innerhalb zwei Minuten um 3° erwärmt wurde.

Warren de la Rue und H. Müller[2]) fanden ebenfalls die grösste Wärmeentwicklung in den hellen Schichten. Wie zu erwarten, war das Potentialgefälle zwischen den Endflächen einer dunkeln Schicht geringer als zwischen den Grenzen einer hellen Schicht.

Gleiches ergiebt sich auch aus Versuchen von Bückmann, welcher während des Durchgangs der Entladungen einzelne Abschnitte der Entladungsröhre abschmolz und den darin herrschenden Druck bestimmte.[3])

Bückmann (1881) untersuchte auch die Entladung bei Anwendung einer zwei- oder dreizinkigen Gabel als Anode. Die Form der Schichten des positiven Büschellichtes entsprach fast genau den entsprechenden Niveauflächen des Potentials.

Auch nach Hittorf[4]) ist das Gefälle in den dunkeln Schichten weit kleiner wie in den hellen und dementsprechend die Wärmeentwicklung.

Nach Langer[5]) ergeben sich die Schichten als Maximalwerthe des elektro-dynamischen Potentials aus den Differentialgleichungen der Fortpflanzung elektrischer Störungen unter der Annahme, dass die Veränderungen des Potentialniveaus an den Elektroden so schnell aufeinander folgen, dass praktisch eine einzelne Partialentladung ausgeschlossen ist, auch bei ganz langsamer Annäherung der Elektroden, wo noch Millionen von Schwingungen in kürzester Zeit eintreten können.

Bei meinen eigenen Versuchen über den Durchgang relativ starker Ströme durch grosse Luftpumpenrezipienten suchte ich auf indirekte Weise die Temperaturvertheilung zu ermitteln.

Es wurde zu diesem Zwecke dem Gas Oeldampf beigemischt, welcher durch die Hitze des Entladungsraumes in gleicher Weise zersetzt wird, wie in der Flamme einer Lampe. Er scheidet dabei fein zertheilter Kohlenstoff aus welcher unter Umständen nach der Abkühlung als Rauch und Russ sichtbar wird, gewöhnlich aber, ebenso wie bei einer Kerzenflamme, seine Anwesenheit nur durch die Ausstrahlung von intensivem, gelbroten Licht mit kontinuirlichem Spektrum kundgiebt.

---

1) De la Rive, Pogg. Ann. **131**, 455, 1867.
2) Warren de la Rue u. H. Müller, C. R. **86**, 1072, 1878.
3) Buckmann, Beibl. **6**, 256, 1881.
4) Hittorf, Wied. Ann. **21**, 136, 1884.
5) Langer, Progr. d. Gr. Gleichen'schen Gymnasiums zu Ohrdruf 1889.

Die Ausscheidung des Kohlenstoffes erfolgt nicht gleichmässig im ganzen Endladungsraume, vielmehr ist gegen die Grenze hin die Temperatur zu niedrig, gegen die Achse hin dagegen so hoch, dass aller etwa ausgeschiedene Kohlenstoff sich sofort wieder verflüchtigt. Die Ausscheidung beschränkt sich daher, wie schon oben (S. 293) angegeben, auf einen hohlen Raum, welcher im Innern der Aureole liegt und sackartig die geschichtete rothe Lichtsäule ziemlich nahe an die Ränder der Schichten anschliessend umgiebt.[1])

Wäre die Temperaturvertheilung eine vollkommen gleichmässige, den Stromlinien des konstant gedachten Stromes entsprechende, so müsste dieser Sack aussen und innen glatte Oberfläche besitzen. Dies ist indess nicht der Fall, er zeigt vielmehr, wie aus Fig. 2 Taf. VII, welche einen idealen Durchschnitt durch Schichten und Sack zeigt, zu erkennen, im Innern rippenartige Vorsprünge, welche in die dunkeln Räume zwischen den hellen Schichten eingreifen und somit den Beweis liefern, dass dort die Temperatur niedriger ist als in den leuchtenden Schichten, obschon die verhältnissmässig starke Strömung des Gases die Entstehung von Temperaturdifferenzen sehr erschwert.

R. W. Wood[2]) fand bei seinen bolometrischen Untersuchungen an einem mit Stickstoff von 1,5 mm Druck gefüllten Geissler'schen Rohr von 1,5 mm Weite bei 0,001 Ampère Stromstärke folgendes:

„Ist der Druck in der Geissler'schen Röhre klein genug, dass Schichtung des Anodenlichtes auftritt, so findet man immer in der Mitte dieses Theils ein Temperaturmaximum, indem die Temperatur in dem Maasse wächst, in welchem wir uns von der Anode entfernen und wieder fällt, nachdem wir über die Mitte hinausgekommen.“

Vermuthlich entspricht das Temperaturmaximum der Stelle, wo positiver und negativer Büschel zusammen treffen. Nach dem oben Gesagten (S. 216) würde sich dies leicht an einer Röhre mit verschiebbarer Kathode prüfen lassen, da sich der negative Büschel mit der Kathode verschiebt, der positive nicht.

Ueber diese Temperaturvertheilung lagert sich noch ein periodisches Steigen und Fallen der Temperatur. Die leuchtenden Schichten sind wärmer als die dunkeln zwischen denselben.“[3])

Alle diese Beobachtungen scheinen für die dargelegte Theorie zu sprechen. Ist nun aber diese zutreffend, so lässt sich, da wir auch in dem dunkeln Kathodenraume eine Anhäufung elektrisirter Luft vermutheten (vgl. S. 170), erwarten, dass da, wo positive Schichten und negatives Glimmlicht aneinander

1) O. L., Wied. Ann. **55**, 377, 1895.

2) R. W. Wood, Wied. Ann. **59**, 238, 1896.

3) Wood citirt hier auch meine eigenen Beobachtungen, meint indess, ich sei der Ansicht, die freien Kohlentheilchen glühten in den leuchtenden Schichten, während sie in den dunkeln unsichtbar seien. Dies trifft nicht zu, vielmehr behaupte ich, das Glühen findet in den dunkeln Schichten statt, in den hellen verflüchtigen sich die Theilchen. Dass Wood bei seinen Versuchen niemals eine so hohe Temperatur erhielt, erklärt sich einfach dadurch, dass er mit weit geringerer Stromstärke und Spannung arbeitete.

grenzen, entsprechende Störungen auftreten werden. Solche sind in der That zu beobachten.

Setzt sich an einer Stelle an das negative Glimmlicht auf einer cylindrischen Kathode eine rothe positive Schicht an, so erscheint daselbst der dunkle Raum mehr oder minder beträchtlich aufgetrieben. Solche Anschwellungen erscheinen auch zuweilen dann, wenn die Schichten, welche sie veranlassen, zu lichtschwach sind um zur Wahrnehmung zu kommen. Verschiedene Beispiele an drahtförmigen Kathoden sind dargestellt auf Taf. VII Fig. 1 a — f.[1])

In besonders auffälliger Weise beobachtete ich diese Anomalien der Dicke des dunkeln Kathodenraumes bei einer halbkugelförmigen Kathode von 8 cm Durchmesser, an welcher in der Richtung des Pfeiles, Taf. VI Fig. 4, eine positive Entladung vorbei geleitet wurde. Statt dass, wie gewöhnlich, die Kathode sich vollständig mit Glimmlicht überzog, erschien der bestrichene Theil davon frei und der Rand des Restes war beträchtlich von der Oberfläche der Kathode abgehoben bis zu etwa dem 5fachen der normalen Dicke des dunkeln Raumes und lief schliesslich in eine röthliche positive Schicht aus. Ausserdem war ein Stück der Glimmlichthülle, wie aus der Figur zu ersehen, abgerissen und stand mit einer zweiten positiven Schicht in Verbindung.

Denkt man sich eine solche Schicht als Strömung in der Richtung des Pfeiles, so muss da, wo sie aufhört, positive Elektrizität sich ansammeln, also die Dicke des dunkeln Raumes vergrössert erscheinen. Umgekehrt wird da, wo der Strom in die nächste Schicht eindringt, negative Elektrizität sich ansammeln, d. h. die Dicke des dunkeln Raumes sich vermindern. Das abgerissene Stück der Glimmlichthülle schiebt sich deshalb scheinbar unter die andere Glimmlichtmasse, da es dort weit geringeren Abstand von der Kathodenoberfläche hat als am Ende, wo es in die positive Schicht ausläuft.

Darauf, dass die Dicke des dunkeln Raumes von der Beschaffenheit des Gases und nicht von unsichtbaren Vorgängen im Aether, Interferenz von Wellen u. dgl. abhängt, weist übrigens auch die bekannte Thatsache hin, dass sie in engster Beziehung steht zum Druck des Gases und dass das durch den dunkeln Raum bedingte Kathodengefälle charakteristisch ist für die chemische Natur des Gases.

Auch die Natur des Gases scheint (vielleicht indirekt durch Aenderung der Entladungsintensität) von Einfluss zu sein.

Wie schon oben erwähnt, beobachtete Grove (1852) die Schichtung in phosphordampfhaltiger Luft, Quet (1852) bei Anwesenheit von Terpentinöl-, Chlorzinn-, Alkohol- oder Holzgeistdampf.

Faye (1861) untersuchte die Entladung des Induktoriums im Dampf von Natrium, Zink, Antimon, Quecksilber, Kadmium, Arsen und Schwefel. Sie

---

1) Vgl. auch O. L., Wied Ann. **11**, 696, Fig. 30 u. 31, 1880 u. Wied. Ann. **56**, 328, 1896.

zeigte sich im Allgemeinen schön geschichtet und mit der dem Gase entsprechenden Farbe.

Nach Baly[1]) zeigt sich eine deutliche Schichtbildung nur dann, wenn zwei Gase gemischt sind und wenn sie sich beim Durchgang des Stromes mehr oder weniger scheiden, indem das eine gegen die eine Elektrode hinwandert, das andere gegen die andere. In reinem Hg-, J-, S-, As- und HgJ_2-Dampf wurden keine Schichten beobachtet.

Bedeckt man die Kathode bis auf die Spitze mit einer Glasröhre, so unterbleibt die Schichtenbildung, tritt aber sofort auf, wenn man den Strom umkehrt.

Sauerstoffgas und Quecksilberdampf geben nach Morren überhaupt keine Schichtung.[2])

Schuster (1884) hatte gefunden, dass die elektrische Entladung in Quecksilberdampf ohne Glimmlicht, dunkeln Raum und Schichtung geschieht. Stenger vermuthet, dass dies für Metalldämpfe allgemein gelte und dass hierdurch auch die Abwesenheit des Glimmlichtes bei der Bogenentladung bedingt sei. Selbst bei 3 cm langem Bogen füllte stets eine ungeschichtete zusammenhängende Lichtmasse den Raum zwischen beiden Elektroden aus.

Nach meinen eigenen Beobachtungen[3]) und denjenigen von E. Wiedemann und G. C. Schmidt[4]), sowie von Arons, sind diese Annahmen indess nicht aufrecht zu erhalten.

Sind bei einem bestimmten Widerstand im primären Kreise die Schichten des Induktoriums stationär, so verschieben sie sich nach Spottiswoode bei Vermehrung desselben gegen die Kathode, bei Verminderung gegen die Anode.[5])

Nach Goldstein[6]) nehmen die Schichtintervalle zu mit der Röhrenweite und mit der Gasverdünnung.[7])

45. Die Niveauflächen in der Aureole.

In einem bezüglich des elektrischen Widerstandes homogenen Körper verlaufen die Niveauflächen des Potentials bei stationärer Strömung bekanntlich senkrecht zu den Stromlinien. Dies gilt nicht mehr genau für einen Körper von ungleichmässigem spezifischen Widerstand und für nicht stationäre Strömung.

1) Baly, Phil. Mag. (5) **35**, 200, 1893.
2) Morren, Ann. chim. phys. (4) **4**, 325, 1867.
3) O. L., Wied. Ann. **55**, 371, 1895.
4) E. Wiedemann und G. C. Schmidt, Wied. Ann. **57**, 458, 1896.
5) Spottiswoode, Proc. Roy. Soc. **25**, 547, 1877.
6) Goldstein, Wied. Ann. **15**, 277, 1882.
7) Vgl. ferner: Wüllner, Pogg. Ann. Jubelb. 1874. Warren de la Rue und H. Müller, C. R. **86**, 1072, 1878. Fernet, C. R. **90**, 680, 1880.

Versucht man nun in Fig. 171 die Niveaulinien einzutragen, so erhält man eine Zeichnung, welche in überraschender Weise die Schichtung darstellt, welche man thatsächlich beobachtet, wenn auch die Schichten sich in Wirklichkeit nicht bis zur äussersten Grenze der Aureole fortsetzen.[1])

Die Uebereinstimmung ist allerdings keine ganz vollkommene, wie man aus den Figg. 176—179 erkennen kann, welche die Schichtung für die reine Lichtbogen- und Gasentladung und für die Fälle, bei welchen sich das eine oder beide Glimmlichter auf Punkte reduzirt haben, darstellt.

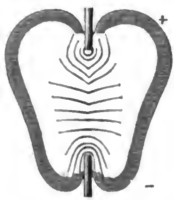


Fig. 176.

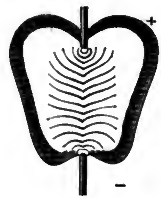


Fig. 177.

Vollkommen wird aber die Uebereinstimmung, wenn man annimmt, der spezifische Widerstand des Gases vermindere sich mit wachsender Stromdichte, was nach Hittorf nothwendig angenommen werden muss, und wenn man

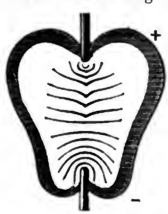


Fig. 178.

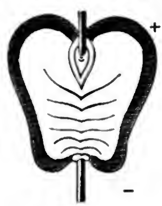


Fig. 179.

ausserdem Rücksicht nimmt auf die Thatsache, dass an der Kathode ein eigenthümlicher Widerstand auftritt, welcher die Entstehung eines starken Potentialabfalls, des sogenannten Kathodengefälles, zur Folge hat.

Wie kann man nun aber bei einem unstetigen Strom von stetig verlaufenden Stromlinien reden?

Die Berechtigung ergiebt sich sofort aus der Ueberlegung, dass alle aus einer Elektrode austretende Elektrizität auf zusammenhängender Bahn sich bis zur anderen Elektrode hinbewegen und in dieser verschwinden muss, mag dies

1) O. L., Wied. Ann. 55, 386, 1895 und Zeitschr. f. Elektrochem. II, 463, 1896.

nun mit gleichmässiger Geschwindigkeit oder ruckweise geschehen. Der Verlauf der Stromlinien in einem zusammenhängenden Medium ist nicht abhängig von der Stärke des Stromes, welcher denselben folgt, sondern nur von der Form der Elektroden und der Begrenzung des Mediums. Die Stromlinien müssen somit für den pulsirenden Strom dieselben sein wie für einen konstanten, wenigstens solange keine Knickung derselben stattfindet, etwa in der Art, dass die Strömung von einer Elektrode zunächst zu einem beliebigen dritten Körper (etwa der Wand des Entladungsgefässes) und von hier erst zur andern Elektrode geht.

Die Niveauflächen sind senkrecht zu den Stromlinien, solange das durchströmte Medium allenthalben gleiches Leitungsvermögen besitzt. Ist dies nicht der Fall, so ergeben sich mehr oder minder grosse Abweichungen von der senkrechten Durchkreuzung.

Bringt man z. B. in ein stromdurchflossenes Medium einen Körper von besserer Leitungsfähigkeit, so ziehen sich die Stromlinien, wie Fig. 180 an-

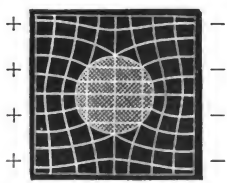
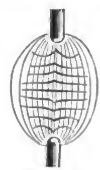
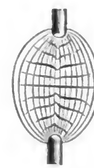


Fig. 180.


Fig. 181.


Fig. 182.

deutet, in ihn hinein, während die Niveauflächen nahezu daraus verdrängt werden. Für den umgekehrten Fall, d. h. wenn der Körper schlechter leitet als die Umgebung, werden die Stromlinien herausgetrieben und die Niveauflächen rücken näher zusammen. Die Fig. 180 stellt auch diesen Fall dar, wenn man Strom- und Niveaulinien vertauscht. In beiden Fällen findet an der Grenze des Körpers eine scharfe Brechung sowohl der Stromlinien, wie der Niveauflächen statt. Ist nun der Körper von dem umgebenden Medium nicht durch eine scharfe Grenze geschieden (man denke z. B. an eine Schliere), so wird sich der Verlauf der Linien und Flächen nur in der Weise ändern, dass sie ebenfalls nicht scharf gebrochen werden, aber an keiner Stelle der Mischzone senkrecht zu einander stehen wie in einem homogenen Medium.

Würden wir also bei einem Entladungsvorgang einen Schichtenverlauf beobachten, wie Fig. 181 zeigt, so wäre daraus zu schliessen, dass der Durchgang der Entladung durch die Achse des Entladungsgebiets leichter als in der Umgebung stattfindet. Umgekehrt würde der in Fig. 182 dargestellte Schichtenverlauf erkennen lassen, dass in der Achse das Leitungsvermögen geringer ist als gegen die Grenze der Aureole hin.[1])

1) O. L., Verh. d. Karlsr. Nat. Vereins **12**, 1896.

Thatsächlich haben die Schichten gewöhnlich weder den einen noch den andern Verlauf, sondern sind auf beiden Seiten gegen die Kathode hin konvex. Dies heisst also, bei der Kathode ist das Leitungsvermögen in der Achse besser, in der Nähe der Anode schlechter als ringsherum. Demgemäss muss eine Verdichtung der Stromlinien in der Nähe der Kathode und eine Zerstreuung in der Nähe der Anode stattfinden, etwa so wie Fig. 183 andeutet.

Sehr merkwürdig ist der Verlauf der Schichten zwischen zwei dicken cylindrischen Elektroden, welchen die Figg. 184 a u. b darstellen. Man muss hier berücksichtigen, dass für den Verlauf der Niveaulinien an den Elektroden nur die

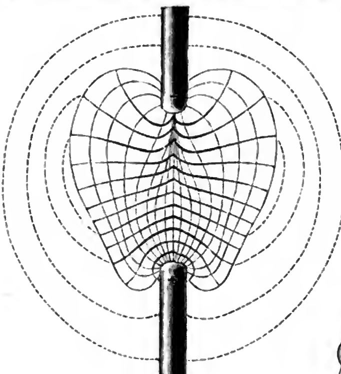


Fig. 183.



Fig. 184 a.

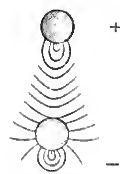


Fig. 184 b.

hellen Punkte maassgebend sind, an welchen die Elektrizität thatsächlich austritt. Die übrige Oberfläche der Elektroden scheint sich mit einer ihre Ladung kompensirenden elektrischen Schicht zu bedecken, welche damit eine unwirksame Doppelschicht bildet. Aber auch bei dieser Annahme zeigt sich hier eine Anomalie, insofern da, wo die zurückgebogenen Schichten die Anode treffen, Glimmlicht auftritt. Vermuthlich ist die Strömung in demselben zu schwach, um den Verlauf der Schichten stören zu können.[1])

Eine andere merkwürdige Anordnung der Schichtung beobachtete Gassiot (1865) bei Anwendung einer Batterie von 4000 Kohle-Zink-Wasser-Elementen

1) O. L., Wied. Ann. 55, 386, 1895.

in äusserst verdünnter Kohlensäure unter Zwischenfügung von Wassersäulen als Widerstand. Bei Verminderung des Winderstandes kamen immer mehr gegen die Kathode zu konvexe positive Schichten aus der Anode heraus, bis ihre Zahl 19 betrug, dann flossen die beiden nächst der Kathode zu einer einzigen doppeltkonvexen Linse zusammen und hierauf der Reihe nach die übrigen. Da, wo die Lichtscheiben die Glaswand berührten, bildete sich, wenigstens in der Nähe der Kathode, ein metallischer Anflug.

Einige ähnliche Doppel-Schichten in der Nähe der Kathode habe ich selbst gelegentlich beobachtet, wie Fig. 185a wiederzugeben sucht.



Fig. 185a.



Fig. 185b.

Die dritte Schicht links, welche gegen die Kathode konkav sein sollte, klappt so um, dass sie mit der nächstfolgenden eine zusammengesetzte Schicht bildet. Ebenso haben sich die beiden folgenden Paare von Schichten zu Doppelschichten vereinigt. Bei Fig. 185b ist eine Schicht nur zur Hälfte eingeklappt, so dass die eine Hälfte gegen die Anode, die andere gegen die Kathode hin konkav ist.

Einen sonderbaren Fall geschichteter Funkenentladung im Vakuum, welchen ich bei konzentrischer Anordnung der Elektroden inmitten eines geräumigen Glaskolbens erhielt,[1]) zeigen die Figg. 186 und 187.



Fig. 186.

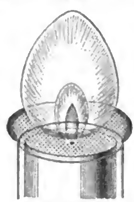


Fig. 187.

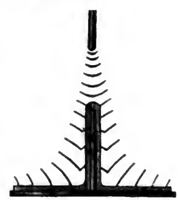


Fig. 188.

Bei dem in Fig. 186 dargestellten Fall, wobei die als Kathode dienende 3 cm weite Messingröhre aussen und innen von einer Glasröhre bedeckt war, zog sich der von der punktförmigen Anode (einem bis auf das Ende mit Glas umhüllten Drahte) inmitten des freien Randes der Kathode ausgehende Funke in Form einer nach unten zugespitzten, vielfach verästelten und in hell strahlende Punkte endigenden, röthlichleuchtenden Lichtmasse in den nur 1 mm dicken Zwischenraum zwischen dem Messingrohr und dem äusseren Glasrohr hinein.

1) O. L., Zeitschr. f. phys. Chem. 18, 110, 1885.

War umgekehrt der Draht Kathode, so hatte die Funkenentladung das Aussehen der Fig. 187. Ueber der Kathode erschienen mehrere nach oben zugespitzte Schichten, die innerste hellblau, die folgende rosaroth, die nächste am inneren Rande hell gelbgrün, am äussern dunkelgrün, darüber manchmal noch in grösserer Höhe eine zweite dunkelgrüne Schicht und am Rande der Anode ein sich an diese Schichten eng anschmiegender karmoisinrother Wulst. Der Luftdruck entsprach dabei einer Dicke des (im Falle eintretender Gasentladung sich bildenden) dunkeln Kathodenraumes von etwa 20 mm. Die Kapazität des Kondensators betrug in beiden Fällen etwa 2 Mikrofarad. Zur Erzeugung des Stromes diente eine Hochspannungsakkumulatorenbatterie, der eingeschaltete Widerstand war eine mit Wasser gefüllte U-Röhre.

Einen anderen sehr interessanten Fall von Schichtung beobachtete ich bei Annäherung dünner in grosse Blechscheiben eingesteckter Elektroden. Das positive Licht, welches gewöhnlich vom negativen durch den sogenannten dunkeln Trennungsraum getrennt ist, sprang plötzlich auf dieses über, und zwar in dem Maasse, als man die Elektroden näherte, eine Schicht nach der anderen, so dass auf das negative Glimmlicht konische rothe Ringe aufgesetzt erschienen; ja schliesslich ging das positive Licht selbst auf das auf der Platte ausgebreitete negative Licht über (Fig. 188) und zuweilen endete diese blaue Glimmlichtscheibe auf der Kathode in einem damit unmittelbar zusammenhängenden, der Platte ebenfalls ziemlich dicht anliegenden rothen Ring, so dass also die Kathode auf einer vielleicht ein Quadratdecimeter messenden Ringfläche mit positivem Licht bedeckt erschien, welches, wie auch das blaue Glimmlicht, etwas gegen die Anode zu aufgebogen war.

Der Verlauf der Schichtung bei Fig. 188 lässt deutlich erkennen, dass die von der Anode ausgehenden Stromlinien regelmässig bis zur leuchtenden Hülle der Kathode, d. h. bis zur Grenze des negativen Glimmlichtes verlaufen, dann aber scharf, nahezu in rechtem Winkel, umbiegen, um in die Kathode einzutreten.[1])

Eine solche scharfe Brechung der Stromlinien muss an der Grenze zweier Medien von verschiedenem Leitungsvermögen eintreten und derart verschiedenes Leitungsvermögen, welches in der Verschiedenheit des Potentialgradienten zum Ausdruck kommt, zeigen thatsächlich das roth und das blau leuchtende Gas bei Entladungen. Die Beobachtung widerspricht also der Annahme, dass die Schichten die Niveauflächen oder Stromflächen der Energie darstellen, selbst dann nicht, wenn man eine stetige Strömung annimmt.

Bei ähnlichen Versuchen[2]) wurden zwei drahtförmige Elektroden von etwa 10 cm Länge, welche in kreisförmige Scheiben von etwa 25 cm Durchmesser eingesetzt waren, benutzt. War die Elektrodendistanz gross, so zeigten sich die bekannten Erscheinungen, wurde sie aber auf etwa 1 cm vermindert, so

1) O. L., Wied. Ann. **55**, 387, 1895.
2) O. L., Wied. Ann. **56**, 311, 1895.

sprang plötzlich das rothe positive Licht auf das negative über, eine konische Schicht absondernd, welche durch einen dunkleren Raum von dem übrigen positiven Licht getrennt war (Taf. VII Fig. 6).

Bei vergrösserter Stromstärke oder weiter verminderter Elektrodendistanz traten noch mehr positive Schichten auf das negative Licht über, so dass dieses zuweilen in seiner ganzen Länge mit zahlreichen rothen Trichtern bedeckt erschien (Taf. VII Fig. 7). Abermalige Vergrösserung der Stromstärke oder Verminderung des Luftdruckes bewirkte weiter Uebergang des negativen Glimmlichtes auf die Scheibe, in welche die Drahtkathode eingesetzt war und es entstand dann die in Fig. 188 dargestellte Anordnung der Schichten, wobei die auf der Platte aufsitzenden nahezu cylindrischen Ringe öfters sehr grossen Durchmesser (bis zu 10 cm und mehr) hatten. Zuweilen waren nur wenige solcher Schichten vorhanden, zuweilen auch zahlreiche, und nicht selten verschmolzen sie zu einer anscheinend kontinuirlichen, das negative Licht vollständig einhüllenden rothen Lichtmasse von der Form eines umgestürzten Kelches (Taf. VII Fig. 8 u. 9), dessen Rand sich zu einer unmittelbar an das blaue Glimmlicht angesetzten rothen ringförmigen Scheibe verbreiterte.

Aehnliches theilte bereits früher Hittorf mit.[1])

„Vermehrt man bei grösserer Verdünnung etwa durch Verringerung des Widerstandes die Stromstärke, so verkleinert sich stetig der dunkle Raum zwischen Glimmlicht und positivem Licht, indem letzteres sich ausdehnt. Ist es geschichtet, so vermehren sich seine Schichten und erscheinen bei genügender Stromstärke auch neben dem Kathodenlicht. Sie nehmen hier aber nie den ganzen Querschnitt der Röhre ein, sondern bilden leuchtende Ringe, welche auf der einen Seite von der Glaswand begrenzt sind und auf der andern scharf an der dunkeln negativen Schicht endigen."

Besonders auffallend war die Erscheinung bei Anwendung dünner Kohlenelektroden in Wasserstoff.

„Diese hellen Schichten sind nicht auf dem ganzen Querschnitt der Röhre, wie sonst, leuchtend, sondern bilden leuchtende Ringe, deren Inneres dunkel ist. Sie umgeben sowohl das obere Ende der Anode, wie den Zwischenraum und die Kathode bis zu ihrer punktförmigen heissen Stelle."

46. Elektrischer Wirbelwind.

Im Innern eines von stationärem elektrischen Strom durchflossenen Leiters kann bekanntlich keine freie Elektrizität angehäuft sein. Wohl können sich in der Strombahn freie elektrische Atome Ionen vorfinden, indess muss die Zahl der positiven und negativen stets gleich gross sein, so dass nirgendwo

1) Hittorf, Wied. Ann. **21**, 95, 1884.

die eine oder andere Elektrizität angehäuft erscheint. Solche Anhäufungen finden sich nur an der Oberfläche des Leiters und sie sind es, welche die Kräfte ausüben, die treibend auf die im einen und entgegengesetzten Sinn wandernden Ionen einwirken.

Anders verhält es sich bei elektrischen Entladungen. Im elektrischen Wind ist freie Elektrizität vorhanden, denn nur sie kann die treibende Kraft erzeugen, welche die Luft in Bewegung setzt.

Stehen sich etwa zwei spitze Elektroden gegenüber, so werden die Bahnen, welche die sich durchkreuzenden Ionenströme, nach dem was oben S. 99 darüber bemerkt wurde, beschreiben, etwa die in Fig. 91 angedeuteten sein.

In der Nähe der Elektroden findet sich ein Ueberschuss der mit denselben gleichsinnig elektrisirten Ionen, nur in der Mitte, wo sich deshalb auch kein elektrischer Wind bemerkbar macht, ist die Zahl gerade gleich.

Es wäre nun recht wohl denkbar, dass unter solchen Umständen eine Störung der Luftströmungen eintreten könnte, in ähnlicher Weise wie bei Begegnung entgegengesetzt gerichteter Flüssigkeitsstrahlen, in welchem Falle in bekannter Weise Wirbelbewegungen entstehen. Solche unsichtbare elektrische Wirbelbewegungen in der Luft könnten auch mit einem Ausgleich der Ionenladungen (oder Vereinigung entgegengesetzt geladener Ionen zu unelektrischen Molekülen) verbunden sein, so dass also die Stromlinien nicht mehr von einer Elektrode zur andern verlaufen, sondern nur von jeder Elektrode bis zu dem betr. Wirbel, wo sich die Enden zusammenschliessen, ähnlich wie bei den bei konvektiver Entladung in Flüssigkeiten (S. 65) beobachteten Wirbeln.

Vermuthlich ist in dieser Weise eine eigenartige Beobachtung von H. Hertz über wirbelartige Deformation der bei Flaschenentladungen auftretenden Aureole zu deuten, welche schon oben S. 289 citirt wurde.

Hertz schreibt darüber:

„Im Allgemeinen zeigt sich die Form der gelben Hülle abhängig von der Richtung des Stromes und es lässt sich deutlich erkennen, dass die bewegten Gasmassen Geschwindigkeitskomponenten in der Richtung der Strombahn besitzen, deren Ursache nicht einfach in der erhöhten Temperatur der Funkenbahn gesucht werden kann.

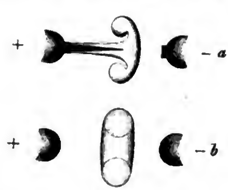


Fig. 189.

Die gelbe Hülle um den Entladungsfunken einer Leydener Flasche in verdünnter Luft zwischen kugelförmigen Elektroden mittelst eines nach dem Prinzip des Stroboskops konstruirten Apparates, welcher gestattete, die einzelnen Phasen der Bildung der Hülle nach einander zu sehen, beobachtet, hatte die in Fig. 189 dargestellte Form. Zunächst erschien ein von dem positiven rothen Lichtstreif ausgehender, sich pilzartig verbreiternder Strahl (Fig. 189a), der schliesslich in einen Wirbelring überging“ (Fig. 189b).

Aber nicht nur bei hochgespannter Elektrizität treten Kräfte auf, welche Wirbelbildungen veranlassen können, es genügt dazu schon die Spannung, welche zur Erzeugung eines Lichtbogens ausreicht.

Bereits auf S. 251 wurde die Bildung elektrischen Windes im Lichtbogen eingehend beschrieben. Schon de la Rive[1]) beobachtete solchen bei Anwendung einer Quecksilberfläche als Elektrode. „Das Quecksilber stieg in Form eines Kegels auf, wenn es positiv war, und sank bedeutend unter der positiven Spitze, wenn es negativ war.“

Lecher (1888) bemerkt: „In den meisten Fällen, besonders auffallend aber bei Silber- und Kupferelektroden, scheint die Hauptrichtung der Konvektion von der negativen zu der positiven Elektrode zu führen. Die Lichterscheinung strömt so heftig aus der negativen Elektrode heraus, dass z. B. ebensowohl die Metalldämpfe, als auch von unten aufsteigender Rauch heftig in dieser Richtung fortgeschleudert werden. Bei Platin, Eisen und Kohle ist die Erscheinung weniger ausgeprägt; dass aber auch hier ein Strömen der Materie von der negativen zur positiven Elektrode stattfindet, beweisen, wie ich glaube, wenigstens die Versuche von Dewar (1882), welche direkt manometrische Druckunterschiede nachweisen.“

Auch bei der gewöhnlichen Glimmentladung giebt nach Warburg[2]) die positive Ladung der Luft in der Nähe der Kathode zu wirbelartiger Strömung der Luft daselbst Anlafs, welche die mehrfach beobachtete Fortführung von Materie im Sinne des positiven Stromes erklären kann.

Auf die Existenz der positiv elektrischen Ladung der Luft im negativen Glimmlicht, auf welche bereits Schuster[3]) hingewiesen hat, schliesst Warburg aus der Kraft, mit welcher bei der Glimmentladung die Kathode gegen die Anode hingezogen wird, welche sehr viel grösser ist als die Kraft, mit welcher sich die Anode gegen die Kathode zu bewegen sucht. Die Ladung der Anode ist um diesen Betrag der elektrischen Ladung der Luft kleiner als die Ladung der Kathode, sobald Glimmentladung eingetreten ist, während zuvor die Ladungen gleich waren.

Nach Heydweiller[4]) ist nun allerdings die Annahme von Faraday, dass sich die Luft elektrisiren lasse, unzutreffend, und die Versuchsresultate von Warburg sollen sich erklären lassen durch verschiedene Stärke der Luftströmungen, je nachdem die untere oder obere Elektrode die heissere ist und dadurch, dass eine Sonde bei intermittirenden Entladungen im allgemeinen nicht das richtige Potential an der betreffenden Stelle anzeigt, zumal da nach den Beobachtungen von Hallwachs[5]) das Potential eines mit ultraviolettem Licht bestrahlten und dabei angeblasenen Leiters bis zu 100 Volt steigen kann.

---

1) De le Rive, Pogg. Ann. **76**, 279, 1849.
2) Warburg, Wied. Ann. **45**, 1, 1892.
3) Schuster, Proc. Roy. Soc. **47**, 541, 1890.
4) Heydweiller, Wied. Ann. **48**, 110, 1893.
5) Hallwachs, Wied. Ann. **40**, 343, 1890.

Indess zeigen schon die älteren Beobachtungen von Puluj (Vgl. S. 224) und E. Wiedemann,[1]) welcher letztere eine Elektrode der andern im Vakuum entgegenschwimmen liess und fand, dass sie mit grosser Kraft von derselben angezogen wurde, dass hier thatsächlich Kräfte auftreten, welche sich nicht durch einfache Luftströmungen in Folge von Temperaturdifferenzen erklären lassen.

Bezüglich der treibenden Kräfte bei den von mir untersuchten grossen Aureolen im Vakuum lässt sich folgendes sagen.

Ausserhalb der Aureole finden sich keine Stromlinien, sondern nur Kraftlinien — in der Fig. 183 punktirt gezeichnet —, welche an der Oberfläche der Aureole und an der Oberfläche der Elektroden frei endigen und von den (nicht gezeichneten) Niveauflächen senkrecht durchschnitten werden.[2])

Die Enden der Kraftlinien an der Oberfläche der Aureole sind Stellen, wo freie Elektrizität angehäuft ist. Diese Elektrizität, welche im Innern der Gasmasse angehäuft ist, folgt der Kraft des elektrischen Feldes, indem sich die daran befestigten Kraftlinien zusammenzuziehen suchen.

Aehnliches gilt von den Kraftlinien, welche sich von einer hellen Schicht zur nächsten erstrecken.

Zu diesen Kräften tritt nun noch von benachbarten Schichten kommender elektrischer Wind hinzu, welcher Störungen gleicher Art bewirkt, so dass die Bildung elektrischer Wirbel unvermeidlich ist.

Bereits oben wurde darauf hingewiesen, dass der von einem hellen Fleck an der Elektrode ausgehende Metalldampf höchst wahrscheinlich durch elektrische Kräfte vorwärts getrieben wird und der ganzen Luftschicht einen Bewegungsimpuls giebt, so dass diese von der Elektrode fortströmt und, einen Wirbel bildend, in gebogenen Bahnen wieder dahin zurückkehrt.

Diese in unmittelbarer Nähe der Elektrodenenden stattfindende Wirbelbewegung wird die allgemeine Luftströmung im Rezipienten wenig beeinflussen und bei Anwendung der früher benutzten Mittel zur Sichtbarmachung dieser Strömung (Rauch, Fettdampf u. s. w.) um so weniger hervortreten, als in Folge der hohen Temperatur in der Nähe der Elektroden alle Dunst- und Russpartikelchen sich daselbst sofort verflüchtigen.

Dass sie thatsächlich existirt, lässt sich aber leicht erkennen bei Anwendung dünnerer Eisenelektroden, von welchen gerade von der hellen stark erhitzten Stelle aus ein Feuerwerk von hellstrahlenden Funken ausgeht, welche durch ihre Bahnen den Bewegungszustand des Gases verrathen.

Diese Bahnen verlaufen nun, speziell an der Kathode, wo sich vorwiegend Eisendampf bildet, so wie Fig. 190 andeutet; wenden sich also erst von der Kathode ab, kehren dann wieder zurück, um sich dann abermals abzuwenden, worauf sie ziemlich genau in gerader Richtung bis zur Wand des Rezipienten

1) E. Wiedemann, Wied. Ann. **20**, 769, 1883.
2) O. L., Verh. d. Karlsr. nat. Ver. **12**, 1896.

weiter verlaufen und sodann (dem Reflexionsgesetze entsprechend) scharf gebrochen werden.

Die Kraft, mit welcher die Funken von der Elektrode fortgeschleudert werden, ist augenscheinlich eine recht beträchtliche. Ueber die Natur derselben ist meines Wissens Näheres nicht bekannt; indess ist sie jedenfalls keine elektrische, da das Funkensprühen bei jedem verbrennenden Eisendraht beobachtet werden kann.

Oefters beobachtete ich spiralig gewundene oder epicykloidische Bahnen der Fünkchen, gerade als ob die Fünkchen auf ihrer geradlinigen Bahn gleichzeitig eine Kreisbewegung mit kleinem Radius ausführten.

Die Ursache dieser auffälligen Erscheinung dürfte die Abweichung der Form der Eisenpartikelchen von der Kugelform im Verein mit dem Luftwiderstand sein, wie z. B. beim Bumerang. Auch könnten aus der Verbrennung der Theilchen resultirende Reaktionskräfte, ähnlich wie bei steigenden Raketen, zur Wirkung gelangen.

Die Ablenkung der Funken beweist also deutlich das Vorhandensein einer von der Kathode ausgehenden wirbelnden Bewegung, welche ich kurz den Kathodenwirbel nennen will.[1])

Oben S. 293 wurde von der Bildung eines gelben Sacks gesprochen, welcher unter Umständen in der Nähe der Kathode ein Loch erhält.

Das Auftreten dieser Oeffnung ist aber nicht die einzige Aenderung, welche der Sack in der Nähe der Kathode erleidet, vielmehr zeigen sich an demselben noch eigenartige Formänderungen, welche nur verständlich werden, wenn wir annehmen, dass dort zwei entgegengesetzte elektrische Luftströme zusammentreffen und einen Wirbelring bilden.

Durch diesen elektrischen Wirbel wird auch der ankommende Kohledampf zur Seite geblasen, so dass er nach der Kondensation als ein dem Sack aufgesetzter Trichter erscheint (Fig. 191[2])), welcher sich unter Umständen auch, der Form des Wirbels entsprechend, gegen die Kathode hin wieder verengen kann.

Der entsprechende Wirbel an der Anode scheint, wenigstens bei Eisenelektroden, der geringeren Menge von Metalldampf wegen, geringere Energie zu besitzen und sich mehr in die Länge zu ziehen. Es ist deshalb für die Formänderung, welche der Sack erleidet, ziemlich gleichgültig, welche der Elektroden die obere ist, die Einschnürung erscheint stets an der Kathode.

Da, wo der von der Anode kommende Luftstrom mit dem Kathodenwirbel zusammentrifft, breitet er sich auf demselben aus und bildet ebenfalls einen Wirbel, welcher unter Umständen gleichfalls gelbleuchtend erscheint (Fig. 192[3])).

---

1) O. L., Wied. Ann. **55**, 380, 1895.

2) Von dem Trichter sind nur zwei schmale diametral gegenüberliegende gewissermassen einen Durchschnitt darstellende Streifen gezeichnet.

3) Bei dieser und der folgenden Figur ist der Anschaulichkeit halber der Wirbel durchschnitten gedacht.

Es kommt vor, dass von dem ganzen Sack nur dieser gelbe Wirbelring sichtbar ist, welcher frei inmitten der Aureole zu schweben scheint[1]) (Fig. 193). Häufiger sind aber einzelne Theile der Seitenwandung des Sackes allein vorhanden, so dass innerhalb der Aureole eigenthümlich eingeknickte gelbe Streifen zu schweben scheinen (Fig. 194).

Bei noch mehr gesteigerter Stromstärke nimmt die Höhe des gelben Sackes abermals zu und er erhält an beiden Enden Einstülpungen, welche die



Fig. 190.

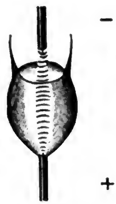


Fig. 191.

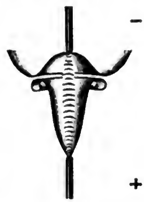


Fig. 192.



Fig. 193.

Elektroden aufnehmen. Die Einstülpung an der Anode schliesst sich eng an dieselbe an, diejenige an der Kathode ist dagegen viel weiter und nimmt den ganzen Kathodenwirbel auf.[2])

Von der Einschnürung des Sackes steigen in der Regel, den allgemeinen Strömungslinien folgend, gelbleuchtende Fäden auf, welche schliesslich, sich

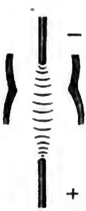


Fig. 194.

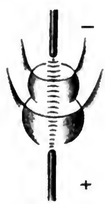


Fig. 195.

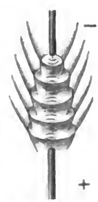


Fig. 196.

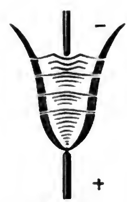


Fig. 197.

abkühlend, in Russfäden endigen. Sie lassen erkennen, dass durch den Kathodenwirbel der Kohledampf gegen die Einschnürung des Sackes hingedrängt wird, so dass er dort in grösserer Dichtigkeit auftritt als an anderen Stellen.

1) Auch bei Abwesenheit von Fettdampf kann derselbe als rothgelb leuchtende Gasmasse erscheinen.

2) Zuweilen zeigt sich auch eine der Glimmentladung entsprechende engere Hülle an der Kathode, auch wohl neben derselben eine zweite rothgelb leuchtende, vermuthlich durch Eisendampf verursachte.

Scheinbar sind diese Verhältnisse ausserordentlich einfach, indess lehrt die eingehende Untersuchung, dass weit komplizirtere Fälle eintreten können, als der eben besprochene.

So kann sich unterhalb des ersten Wirbelringes ein zweiter ausbilden (Fig. 195), unter diesem wieder ein dritter etc., ja es kann sich der ganze Sack aus zehn bis zwanzig und noch mehr Wirbelringen zusammensetzen (Fig. 196), von welchen jeder nach aussen Russfäden in die Höhe sendet und nach innen eine Einschnürung des Sackes veranlasst, welche mit einer Schicht des positiven Lichtes sehr viel Aehnlichkeit zeigt und zuweilen nur durch die Oeffnung in der Mitte sich von einer solchen unterscheidet.

Treten solche Schichten des positiven Lichtes gleichzeitig mit den Wirbelringen auf, so zeigt sich in der Regel eine auffallende Beziehung zwischen beiden. Die gelben Einschnürungen des Sackes greifen zwischen die rothen[1]) Schichten hinein (Taf. VII Fig. 2), als ob sie durch diese veranlasst wären und ihre Entstehung lediglich den Temperaturunterschieden verdankten, wie schon oben (S. 304) näher ausgeführt wurde.

Nicht immer stimmt aber die Zahl der Einschnürungen des Sackes mit derjenigen der rothen Schichten überein, sie kann nur die Hälfte, ein Drittel oder noch weniger betragen, es können auch die Wirbelerscheinungen und Rauchfäden ganz fehlen und die Einschnürungen des Sackes nur als Rippungen auf der Innenseite erscheinen, ja es kann der Sack scheinbar aussen und innen glatt, aber durch papierdünne dunkle Scheidewände unterbrochen sein (Fig. 197), deren jede einer Gruppe Schichten des positiven Lichtes entspricht, gerade als ob sie die Fortsetzung der ersten dieser Schichten wäre, während die übrigen zu geringe Ausdehnung besitzen, um den Sack noch beeinflussen zu können, oder als ob sie an den Rändern mit der ersten Schicht vereinigt wären.

Berücksichtigt man, dass in dem gelben Sack das Gas in gleichmässiger langsamer Strömung von unten nach oben sich befindet, so beweist dieser Versuch, dass die Schichtenbildung unmöglich auf Anhäufung besser und schlechter leitender Gasschichten beruhen kann, da ja die Gastheilchen, welche dieselben zusammensetzen, fortwährend wechseln.

Andererseits kann das plötzliche Verschwinden der Russtheilchen, sobald sie bei ihrer aufsteigenden Bewegung in eine leuchtende Schicht eintreten, nur in der Weise gedeutet werden, dass dort die Temperatur so hoch ist, dass sie verdampfen und erst nach dem Verlassen der Schicht sich wieder ausscheiden. Die Stromwärme in den hellen und dunkeln Schichten muss also, wie oben S. 304 ausgeführt, eine wesentlich verschiedene sein.

1) Richtiger müsste man graugrün sagen, indess ist die Farbe der positiven Schichten nach der Natur des Gases sehr veränderlich.

47. Umgehung von Hindernissen.

A. Sekundärelektroden.

Wäre das Leuchten der Aureole eine Phosphoreszenzerscheinung in Folge von Kathodenstrahlen, so müsste man durch einen in den Weg der Strahlen gebrachten undurchlässigen Schirm darauf einen Schatten entwerfen können. Wäre es Phosphoreszenz durch chemische Wirkung, so müsste man durch Einschalten passender Hindernisse in den aufsteigenden Luftstrom leuchtende Flammen, deren Form nicht durch mögliche Stromlinien bestimmt wird, abzweigen können. Ich habe deshalb weiter den Einfluss solcher Hindernisse untersucht.

Bringt man ein Stück Metall in den Weg der Entladung, so könnte man erwarten, dass sich dasselbe als Sekundärelektrode[1]) verhalten werde, ebenso wie ein Metallstück, welches in eine von Strom durchflossene Flüssigkeit eingelegt wird. Dies ist indessen nur dann der Fall, wenn das Potentialgefälle in der der Länge des Metallstückes entsprechenden Länge der positiven Lichtsäule gleich dem Kathodengefälle an dem Metall ist. Ist es kleiner, so wird wohl Influenz in dem Metall eintreten, der Strom kann aber nicht durch dasselbe hindurch gehen, es werden lediglich an den Enden elektrische Doppelschichten sich ausbilden, welche keine statische Wirkung nach aussen ausüben können, so dass sich das Metallstück genau ebenso wie ein Isolator verhält.

Bereits Gaugain (1855) fand, dass eine Scheidewand aus Stanniol in einem sehr stark evakuirten Rohr sich auf der einen Seite als Anode, auf der andern als Kathode verhält, dagegen nicht mehr, wenn ein Loch darin angebracht wird. Die Entladung geht dann durch diese Oeffnung hindurch, trotz des scheinbar viel geringeren Widerstandes der gleichdicken Metallschicht.

Th. Meyer[2]) beobachtete, dass eine in einer Geissler'schen Röhre liegende Metallspirale sich ganz indifferent gegen die Lichtsäule verhielt.

Der Lichtbogen biegt sich meinen eigenen Beobachtungen zufolge sammt der ihn umhüllenden Aureole einfach um das Hinderniss herum,[3]) wenigstens wenn dasselbe genügend gross ist, um keine nennenswerthe Temperaturerhöhung zu erfahren. Die Taf. VI Fig. 2 (linke Hälfte) zeigt z. B. die Aenderung der Aureole beim Einschieben eines gekrümmten isolirten Eisenblechs. Die Aureole wird deformirt, wie es dem veränderten Lauf der Stromlinien (mit Rücksicht auf die gute Leistungsfähigkeit des erhitzten Gases) entspricht, eine Loslösung phosphoreszirender Gasmassen findet nicht statt, ebensowenig eine Schattenbildung hinter dem Bleche.

---

1) O. L., Molekularphysik I, S. 846, Wied. Ann. **24**, 18, 1885 und a. a. O.

2) Th. Meyer, Beobachtungen über das geschichtete elektrische Licht, Berlin, Springer 1858. S. 23.

3) O. L., Wied. Ann. **55**, 375, 1895.

Bringt man ein solches Blech mit einem Loch in der Mitte quer im Rezipienten an, so ist die Aureole genöthigt, sich durch das Loch hindurchzuzwängen, wie es dem Verlaufe der Stromlinien entspricht und gleiches gilt für Schirme aus isolirenden Substanzen, wie Glimmer, Asbest und Thon.

Sehr dünne Schirme werden an den Rändern der Oeffnung rasch bis zum Schmelzen erhitzt und der Lichtbogen bewirkt so ganz von selbst Erweiterung der Oeffnung bis zur Beseitigung des Hindernisses, mag es ein Leiter oder ein Isolator sein.

Dass auch die Stromlinien im Innern der Aureole der Deformation der äusseren Oberfläche folgen, ergiebt sich aus der Gestaltänderung der von der Aureole umschlossenen inneren gelblichen Lichtmasse, welche etwa die Hälfte des Durchmessers der Aureole besitzt, sowie der röthlichen, zuweilen geschichteten Lichtmasse in der Nähe der Achse. Letztere wird allerdings nur sehr wenig beeinflusst.

Da das Potentialgefälle im Gase vom Drucke abhängt, so wird natürlich je nach dem Drucke des Gases in einem gegebenen Fall die Entladung bald durch den als Hinderniss in den Weg gestellten metallischen Körper hindurch gehen, bald neben demselben vorbei.

So fanden Paalzow und Neesen[1]) (1895), dass, wenn sich die Entladung zwischen einem Gas und einem Leiter verzweigt, bei abnehmendem Druck bis zum günstigsten Druck die Entladung nur durch den Leiter erfolgt. Von da an geht plötzlich der grössere Theil der Entladung an dem Leiter vorbei durch das Gas vor sich. Der durch den guten Leiter gehende Theil wird mit abnehmendem Drucke immer kleiner. Die Selbstinduktion des Leiters spielt dabei keine Rolle.

Von Bedeutung ist dieses Verhalten in die Entladungsbahn eingeschobener Leiter für die Beurtheilung der Wirkung metallischer Sonden zur experimentellen Bestimmung der Potentialwerthe an verschiedenen Stellen des Entladungsraumes.

Nach Warburg[2]) ist zwischen dem Metall einer Sonde und dem Gase keine Potentialdifferenz vorhanden, denn zwei Sonden aus verschiedenem Material ergeben dieselbe Spannung.

Nach Crookes[3]) nimmt eine Sonde in hoch evakuirten Röhren stets positive Elektrizität an in Folge der Influenzwirkung der stark positiv geladenen Gefässwände.

Righi[4]) kommt zu dem Ergebniss, dass die Annahme, das Potential einer Sonde sei stets identisch mit demjenigen, welches die Luft an der Stelle der Sonde haben würde, nicht berechtigt ist.

---

1) Paalzow und Neesen, Wied. Ann. **56**, 281, 1895.
2) Warburg, Wied. Ann. **31**, 553, 1887.
3) Crookes, Beibl. **15**, 727, 1891.
4) Righi, Beibl. **17**, 975, 1893.

Mebius[1]) glaubt erwiesen zu haben, dass sich in Uebereinstimmung mit der Dissoziationstheorie der Entladungen ein starkes Potentialgefälle an Sonden ausbildet.

Eingehende Untersuchungen über das Verhalten von Sekundärelektroden beim Durchgang von Wechselströmen grosser Frequenz haben H. Ebert und E. Wiedemann[2]) ausgeführt. Auch durch diese Untersuchungen sind indess die thatsächlichen Verhältnisse noch nicht völlig aufgeklärt.

Ein Hinderniss eigenthümlicher Art (welches aber im Prinzip ebenso wirkt wie ein kalter fester Körper) ist ein kalter Strahl desselben oder eines anderen Gases. Um den Einfluss solcher Gasstrahlen zu untersuchen, habe ich durch eine enge Stahlkapillare Luft, Leuchtgas oder Oeldämpfe in den Lichtbogen (im Vakuum) eingeblasen, wobei die Kapillare gegen die Einwirkung der intensiven Hitze durch umgeleitetes Wasser (in doppelter Stahlhülle) geschützt wurde.

Die Erscheinungen waren fast dieselben, welche man erhält, wenn man einen dünnen Luftstrahl durch eine Kerzenflamme bläst. Es bildete sich eine Art Löthrohrflamme, welche bei Verwendung von Leuchtgas oder Oeldampf auch thatsächlich eine Flamme war. In den Lichtbogen wurde gewissermaassen ein Loch gebohrt, dasselbe war aber nicht der Form des Luftstrahles entsprechend rund, sondern ein in der Richtung der Achse der Entladung verlängerter Schlitz. Der Luftstrahl bietet offenbar dem Durchgang der Entladung ein Hinderniss, wie etwa ein Glasstab, und bedingt deshalb Spaltung des Lichtbogens in zwei Theile, von welchen der eine rechts, der andere links an dem Luftstrom vorbeigeht. Erst in grösserer Entfernung von demselben findet wieder Vereinigung zu einem einzigen Strom (wohl auch in Folge der elektrodynamischen Anziehung) statt.

Würde hiernach die Entladung auf beiden Elektroden in Glimmlicht endigen, so müsste, wenn die Elektroden einander genügend nahe stehen, auf beiden eine Art Schatten des Luftstromes entstehen, wie dies oben S. 102 für Luft von gewöhnlicher Dichte beschrieben wurde.

B. Gefässverengungen.

Auch die Wände des Gefässes, in welchem die Entladung stattfindet, schränken die freie Ausbildung der Aureole ein.

Nach Warren de la Rue und H. Müller[3]), welche den Potentialgradienten in der positiven Lichtsäule mit Sonden bestimmten, nimmt der Gradient an einer Einschnürung aus diesem Grunde beträchtlich zu.

Hat die Röhre eine Form wie die bekannten Spektralröhren, so findet die Entladung in den weiten Theilen ungestört statt. Die Elektrizität strömt

---

1) Mebius, Wied. Ann. **59**, 713, 1896.
2) H. Ebert und E. Wiedemann. Wied. Ann. **62**, 174, 1897.
3) Warren de la Rue und H. Müller, C. R. **86**, 1072, 1878.

aber nicht durch das Kapillarrohr, sondern dient zunächst dazu, dasselbe nach Art des bei Influenzmaschinen gebräuchlichen Röhrenkondensators zu laden. Erst wenn dort das Potentialgefälle gross genug geworden, geht die Entladung wirklich durch die ganze Röhre. Die Entladung im Kapillarrohr erfolgt also in grösseren Pausen als die in den Erweiterungen, sie entladet aber auch mehr Elektrizität und erscheint somit intensiver.[1])

Eine grosse Reihe von Versuchen über den Einfluss derartiger Verengungen des Gefässes auf die Entladungsform hat Goldstein (1876) ausgeführt. Ich entnehme seiner Abhandlung die nachfolgenden Stellen:

„Für ein und dasselbe Gas zerfällt die Lichtsäule auf einer um so längeren Strecke in Schichten, je grösser der Röhrendurchmesser ist — (hier die Entladungsgefässe als Rotationskörper gedacht, so dass die Länge des Durchmessers nach allen Richtungen in einem Querschnitt konstant ist).

Ist eine Röhre aus mehreren kommunizirenden Stücken zusammengesetzt, so verhält sich generell jedes dieser Stücke wie eine besondere Röhre, die ihre Elektroden an den beiden Eintrittsöffnungen des Stromes hat, welche letztere ich als sekundäre Pole bezeichnen will. Hinter jedem solchen sekundär negativen Pol setzt die Schichtung mit neuer Schärfe und Deutlichkeit wieder an, auch wenn sie vor dieser Stelle, zwischen dem sekundär-negativen Pol und der Metallkathode wegen zu grosser Länge der Lichtsäule schon völlig verwischt ist.

„Theilt man einen Cylinder in einen Abschnitt für die Kathode und in mehrere durch enge Oeffnungen kommunizirende, kongruente Abschnitte, so werden die kongruenten Theile sich wie kongruente selbständige Cylinderröhren verhalten, und an der negativen Eintrittsstelle des Stromes Licht von den Eigenschaften des negativen, darauf folgend bis zum sekundär positiven Pol positives Licht führen. Ist das Licht geschichtet, so hat man jetzt so viel Reihen von „Ordnungszahlen" der Schichten als Abschnitte.

Jede Schicht irgend eines Abschnitts hat in jedem andern Abschnitt eine genau in allen Merkmalen von Farbe, Helligkeit, Grösse usw. übereinstimmende Schicht. Dies ist diejenige Schicht jedes Abschnitts, welche die gleiche Ordnungszahl hat. . . . .

Schliesslich kann man also Röhren herstellen, welche, ohne dass irgend welche positive Schichten vorhanden wären, völlig von negativem Lichte erfüllt sind, das selbst bei bedeutenden Dimensionen der Gefässe sie in Länge und Weite vollständig, ohne noch einen lichtleeren Raum zu lassen, durchsetzt.

Wenn man alle Querschnitte eines Entladungsgefässes so vergrössert, dass die geänderte äussere Oberfläche der Entladung der vorigen Begrenzung geometrisch ähnlich bleibt, so wachsen die Schichtintervalle.

---

1) O. L., Wied. Ann. **22**, 322, 1884.

Hierbei können die Gefässe wieder beliebige Form haben: prismatische, konische, cylindrische, ellipsoidische, sphärische u. s. w., oder auch beliebig aus einfachen Flächen zusammengesetzt sein.

Um kurze Beispiele hervorzuheben:

Wenn man konische Röhren von gleicher Apertur, aber in verschiedenem Abstande vom Scheitel aus dem Kegel herausgeschnitten, untersucht, so sind die Schichtintervalle desto grösser, je grösser der Scheitelabstand der betrachteten Stelle.

In Cylindern von verschiedener Weite muss ceteris paribus den weiteren Gliedern das grössere Schichtintervall entsprechen."

C. Absolute Vakuumröhren.

Besonders auffallende Erscheinungen zeigen sich, wenn der Durchmesser der Röhre in der Nähe der Kathode so klein gewählt wird, dass der dunkle Kathodenraum die Glaswand erreicht d. h. unserer Hypothese gemäss, dass die positiv geladene Lufthülle um die Anode sich bis zur Glaswand erstreckt. Es ist dann dort kein zur Entladung zureichendes Potentialgefälle mehr möglich, die Entladung muss also aufhören oder mindestens sehr erschwert werden.

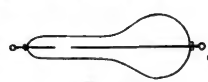


Fig. 198.

Hittorf[1]) sagt: Füllt die mittlere, dunklere, durchsichtige Schicht des Glimmlichtes die Weite der Röhre (Fig. 198) aus, so wird die äusserste stärker leuchtende nicht mehr wahrgenommen. „Statt derselben erscheint rothgelbes positives Licht, das nicht selten geschichtet ist. Es tritt dicht an der Glaswand über der ganzen Länge des mit Glimmlicht bedeckten Drahtes auf und hat nur eine geringe Dicke. Liegt der Draht nicht genau in der Achse der Röhre, so bildet es einen rothgelben Streifen auf der Seite des Drahtes, wo der grössere Abstand von der Glaswand besteht. Tritt dieses positive Licht in weiteren Röhren bei grösseren Verdünnungen über der Kathode auf, so ist die Farbe blasser und wird zuletzt weiss, wie die des positiven Lichtes überhaupt."

Ferner schreibt er[2]): „Sind für die enge Röhre Durchmesser und Länge passend gewählt, so dehnt sich das Glimmlicht zuerst bei abnehmender Dichte über den ganzen negativen Draht *c* aus und erfüllt das weite Rohr vollständig. Hat dann bei fortgesetztem Evakuiren die dunklere mittlere Schicht den Durchmesser des engen Rohres eingenommen, so tritt über derselben das positive Licht auf und verläuft an der Mündung des weiten Gefässes in die daselbst befindliche äusserste Schicht. Gleichzeitig verschwindet der dunkle Raum, der vor dem Ende der Kathode bestand, indem das positive Licht von der Anode ohne Unterbrechung in dasjenige, welches über der Kathode in der engen

1) Hittorf, Pogg. Ann. **136**, 204, 1868.
2) Hittorf, Pogg. Ann. **136**, 205, 1868.

Röhre erscheint, übergeht. Es bedarf nur noch einer kleinen Verringerung der Gasdichte und das Glimmlicht, welches die weite Röhre füllte, bleibt aus. Bald wird auch der enge Kanal dunkel und das negative Licht zieht sich auf das Ende der Kathode zurück."

Mit Entschiedenheit wendet sich Hittorf[1]) gegen Puluj[2]), welcher der Meinung war, dass sich der Widerstand der absoluten Vakuumröhren auf elektrostatische Ladung der Gefässwände zurückführen lasse. Dies ist unmöglich, weil sich der Widerstand des dunklen Kathodenraumes gegen die positive Entladung auch in den weitesten Gefässen beobachten lässt.

Bei einer von Puluj[3]) angewandten Röhre erfolgten die Entladungen nur noch an den Rändern der scheibenförmigen Kathode und längs der innern Glaswand. Dabei war im Innern der Röhre keine Lichterscheinung zu sehen und die Phosphoreszenzwirkung der Strahlen hatte ihr Maximum erreicht.

Wird die Verdünnung noch weiter getrieben, so wird schliesslich der scheinbare Widerstand der Vakuumröhre so gross, dass ohne besondere Hülfsmittel die Entladungen überhaupt nicht mehr durch das Vakuum gehen. (Morgan 1785.)

Plücker (1858) zeigte, dass, wenn ein solches Rohr so weit evakuirt ist, dass der Strom nicht mehr zwischen den Elektroden übergeht, nichts destoweniger Entladungen im Innern zu erhalten sind, wenn man statt der Elektroden Stanniolbelege auf der Aussenseite des Rohres benutzt. Zu demselben Resultate führten auch Beobachtungen von Gassiot (1859) und Edlund (1882).

Man kann übrigens kleine Vakuumröhren herstellen (sog. „Hittorf'sche Röhren"), bei welchen die Elektrizität in langen Funken auf der Aussenseite des Glases sich ausgleicht, während zwischen den auf nur 2 mm Abstand genäherten Elektroden im Innern keine Entladung stattfindet.

Hittorf (1869) selbst beobachtete Folgendes:

„Röhren, deren Durchmesser weniger als 40 mm betragen, und welche mit hinreichend langen negativen Drähten versehen sind, zeigen an der Geissler'schen Pumpe ein Maximum für die Länge des Glimmlichtes. Es ist um so kleiner und tritt bereits bei einer um so grösseren Spannkraft des gasförmigen Mediums ein, je enger die Röhre gewählt wird. . . . Wird die Evakuirung fortgesetzt, so vermindert sich in solchen Röhren die Länge des Glimmlichtes stetig. Ist ihr Durchmesser kleiner als 25 mm, so bleibt bei der äussersten Verdünnung, welche der Aspirator ohne Erhitzung des gasförmigen Mediums hervorzubringen vermag, der ganze negative Draht dunkel. Nur vom Ende, welches der Anode gegenüber liegt, geht noch negatives Licht aus, das jedoch, weil die mittlere dunkle Schicht desselben eine beträchtliche Dicke er-

1) Hittorf, Wied. Ann. **21**, 95, 1884.
2) Puluj, Beibl. **7**, 134, 1883.
3) Puluj, Strahlende Elektrodenmaterie, Wien 1883, S. 15.

langt hat, erst in einiger Entfernung zu beginnen scheint. Seine schwach leuchtenden Strahlen erreichen eine bedeutende Ausdehnung und gehen durch fusslange Röhren. Die Glaswände, welche dieselben begrenzen, werden zur lebhaften grüngelben Fluoreszenz gebracht und büssen an Durchsichtigkeit ein. Positives Licht ist meistens nicht wahrnehmbar. . . . .

Den höchsten Grad der Verdünnung erhält man durch gleichzeitige möglichst starke Erhitzung. Ich benutze hierzu die Dämpfe des kochenden Schwefels (447° C.) oder des Schwefelphosphors (530° C.) . . . . Diesen Röhrchen gebe ich, um sie bequem erhitzen zu können, nur eine Länge von 5 bis 6 cm. Sie lassen ohne Weiteres selbst den stärksten Induktionsstrom nicht hindurch, indem derselbe von den herausragenden Platindrähten aus den Weg durch die Luft über die äussere Oberfläche des Glases vorzieht und als Funke hier übergeht. Um dieses zu verhindern, lege ich das Glasröhrchen in ein anderes weiteres und viel längeres und fülle mit einem dichteren isolirenden

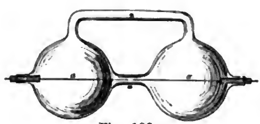


Fig. 199.

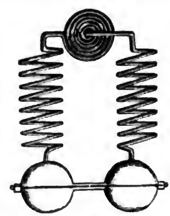


Fig. 200.

Medium, nämlich Terpentinöl, den Zwischenraum aus. Durch Drähte wird die Verbindung nach aussen unterhalten. . . .“

Dass thatsächlich die Form des Gefässes, nicht die Verdünnung der Luft das eigentliche Hinderniss gegen die Entladung ist, geht aus der folgenden weiteren Beobachtung von Hittorf (1869) hervor:

„In dem Fig. 199 dargestellten Behälter sind die zwei Aluminiumdrähte *a* und *a*, welche als Elektroden dienen, zum Theil von einer weiten, zum Theil von einer engen Röhre umgeben. Die in letzterer sich befindenden Enden hatten nur den kleinen Abstand von 1 mm. Die weiten Gefässe stehen noch durch eine zweite, ebenso enge, aber viel längere Röhre *n* mit einander in Verbindung.

Wird in diesem Systeme die Luft allmählich verdünnt, so benutzt der Induktionsstrom anfangs nur die kurze Röhre *m*. Die lange *n* bleibt noch dunkel bei einer Dichte, bei welcher über dem Ende der Kathode in der engen Röhre *m* bereits das rothgelbe positive Licht aufgetreten ist. Jetzt braucht jedoch die Spannkraft der Luft nur wenig weiter verringert zu werden und der Induktionsstrom theilt sich zwischen beiden Röhren *m* und *n*, letztere zuerst mit ganz schwachem Lichte füllend. Bei fortgesetzter Evakuirung ver-

stärkt sich rasch das Leuchten des Kanales *n* auf Kosten desjenigen von *m* und zuletzt bleibt dieser vollständig dunkel."

In einer Röhre, wie Fig. 200, vermag die Entladung durch die lange, vielfach gewundene Röhre zu gehen, während zwischen den Spitzen der Elektroden kein Licht erscheint.

Dieser grosse Widerstand gegen den Durchgang der Entladungen durch enge hoch evakuirte Röhren wurde zuerst von Erman[1]) beobachtet, später von Davy[2]), Gassiot[3]), Plücker[4]), Morren[5]), Alvergniat[6]) u. A. Gassiot gelang es zuerst, gute Vakuumröhren herzustellen, indem er die Röhren mit Kohlensäure füllte und diese durch Kali absorbiren liess. Hittorf erzielte noch wesentlich bessere. Hittorf[7]) zeigte dieselben 1865 Geissler in Bonn, der sie dann vervielfältigte. Plücker zeigte sie später Gassiot, der „ebenfalls über die hohen Spannungen, gegen welche diejenigen seines Kohlensäure-Vakuums sehr zurücktreten, stutzte." [8])

Warren de la Rue und H. Müller[9]) erhielten ein Vakuum, durch welches der Strom von 11000 Chlorsilberelementen nicht mehr hindurch ging.

Tesla[10]) schreibt: „Was das „nicht zu durchschlagende" Vakuum betrifft, so ist zu bemerken, dass dasselbe nur bei Impulsen geringer Frequenz auftreten kann und nur durch die Unmöglichkeit bedingt ist, mit solchen Impulsen in einem hohen Vakuum genügend Energie fortzuführen, da die wenigen Atome, welche sich um die Elektrode herum befinden, nachdem sie mit derselben in Berührung gekommen sind, zurückgestossen und eine verhältnissmässig lange Zeit hindurch von ihr ferngehalten worden und nicht genug Arbeit geleistet werden kann, um sie dem Auge sichtbar zu machen. Wenn die Spannungsdifferenz zwischen den Polen gesteigert wird, wird das Dielektrikum durchschlagen."

Augenscheinlich verhindert die hohe Frequenz die Bildung der Doppelschichten.

Absolute Vakuumröhren, welche den direkten Strom nicht mehr hindurch gehen lassen, können nach Plücker auch bei noch stärkerer Verdünnung zum Leuchten gebracht werden, wenn man sie mit äusseren Elektroden versieht.[11])

---

1) Erman, Gilbert's, Ann. **11**, 163, 1802.
2) Davy, ibid. **72**, 362, 1822.
3) Gassiot, Phil. Trans. **148**, 1, 1858.
4) Plücker, Pogg. Ann. **105**, 70, 158.
5) Morren, Ann. chim. phys. (4) **4**, 325, 1867.
6) Alverguiat, C. R. **65**, 963, 1868.
7) Hittorf, Pogg. Ann. **136**, 202, 1868.
8) Vgl. auch Puluj, Strahlende Elektrodenmaterie, S. 13; ferner Trowbridge, Phil. Mag. (5) **43**, 378, 1897.
9) Warren de la Rue und H. Müller, C. R. **86**, 1072, 1878.
10) Tesla, Untersuchungen über Mehrphasenströme, deutsch von Maser, Halle a. S., 1895, S. 287.
11) Plücker, Pogg. Ann. **105**, 70, 1858.

Schliesst man dann den Strom wieder direkt an die Elektroden an, so geht derselbe einige Zeit hindurch, das Leuchten hört aber bald wieder auf und der Strom ist unterbrochen. Dasselbe Experiment kann man beliebig oft wiederholen.

D. Elektrische Ventile.

In Zusammenhang mit der Ladung der Gefässwände stehen ferner die Ventilwirkungen bei konischen Verengungen, z. B. bei dem Trichterventil von W. Holtz[1]) (1888), dessen einfachste Form Fig. 201 zeigt.

„Die enge Trichteröffnung muss möglichst fein, und die Röhre selbst muss möglichst evakuirt sein, jedenfalls soweit, dass die durch eine feuchte Schnur verzögerte Flaschenentladung Schichtung in derselben erzeugt. Auch muss die Scheidewand selbstredend dicht an der Glaswand haften, so dass der Strom eben nur die Trichteröffnungen passiren kann. Im übrigen spielt die Länge oder Weite der Röhre, soweit meine Versuche reichen, keine Rolle. Die beabsichtigte Wirkung tritt aber überhaupt nur bei disruptiven Entladungen und auch mit Sicherheit nur dann ein, wenn die eingeschaltete Luftstrecke eine gewisse Grösse nicht übersteigt. Letzteres ist aber bei Anwendung einer Influenzmaschine sehr einfach durch die verschiebbaren Hülsen des bekannten Einschaltungsapparates zu reguliren. Unter solchen Voraussetzungen wählt dann der Funkenstrom unter den beiden gebotenen Wegen allemal denjenigen, auf welchem die positive Elektrizität zuerst in die Basis der Trichter gelangt.“



Fig. 201.

v. Bezold[2]) macht hierzu folgende Bemerkung:

„Würde man in einer solch verzweigten Röhre jene Stellen, wo sonst die Leitungsdrähte eingeschmolzen sind, öffnen und dann hinein blasen, so würde der Luftstrom den andern Weg benutzen, er würde sich wesentlich durch jene Röhre fortpflanzen, in welcher er die Trichter von der Basis nach der Spitze zu durchlaufen hätte.“ Der elektrische Strom verhält sich also ähnlich wie ein von der Kathode zur Anode gerichteteter Luftstrom.

Poggendorf[3]) machte Versuche mit der Holtz'schen Vakuumröhre mit fünf eingesetzten Trichtern. Der Strom ging leichter hindurch, wenn die Trichterspitzen positiv waren. Dann zeigten sich in jeder Kammer vier Schichten, sonst fünf.

Auch in Luft von gewöhnlicher Dichte lässt sich eine Art Ventilwirkung erhalten.

W. Holtz (1876) brachte zwischen die Konduktoren einer Influenzmaschine einen Trichter aus Holz. Die Schlagweite wurde dabei kleiner, wenn die Spitze der positiven Elektrode zugewandt war.

1) W. Holtz, Wied. Ann. **10**, 336, 1880.
2) v. Bezold, Wied. Ann. **11**, 792, 1880.
3) Poggendorff, Pogg. Ann. **134**, 1, 1868.

48. Durchkreuzung von Stromlinien.

A. Enge Gefässe.

Bei geeigneter Gestalt des Entladungsgefässes kann es mit Rücksicht auf das Bestreben der Glimmlichtstrahlen, senkrecht von der Oberfläche der Elektrode auszugehen, unmöglich werden, Stromlinien zu konstruiren, welche sich nicht zum Theil schneiden oder decken. Bereits oben S. 177 wurde darauf hingewiesen, dass das positive Glimmlicht in das negative eindringen kann. Gleiches gilt auch für das positive Büschellicht.

Goldstein (1876) bemerkt: „Bei Anwendung des einfachen Induktionsstromes ist es das negative Licht, welches mit zunehmender Verdünnung in die Säule der positiven Schichten hineinwächst und dieselben schliesslich völlig durchsetzen kann." Und später: „Ich habe mich überzeugt, dass auch das sekundäre negative Licht, welches an Verengungen der Röhre nach der Anode hin ausstrahlt, in das hinter der Verengung folgende positive Licht eindringt: wir würden also das Zurückspringen der Elektrizität und ihren Verlauf einmal als positives, einmal als negatives Licht ebenso oft in jeder Röhre haben, als dieselbe Verengerungsstellen besitzt." [1])

Schon Hittorf (1869) zeigte ähnliches mit einer in der Mitte rechtwinklig umgebogenen Röhre, deren Elektroden von einem Kapillarrohr bis nahe zur Spitze umhüllt waren. Das von der Anode ausgehende positive Licht bog sich der Krümmung des Rohres folgend in die Richtung gegen die Kathode zu, die Kathodenstrahlen dagegen strahlten geradeaus bis zur Biegung, wo sie abgeschnitten wurden.

Die Abbildung Taf. VIII Fig. 9 zeigt den von der Lage der Anode unabhängigen Verlauf der Kathodenstrahlen in einer Hittorf'schen Röhre, in welcher die knieförmig gebogene und bis auf die Spitze mit Glas umhüllte Kathode in der Mitte des Rohres eingesetzt ist. Die Kathodenstrahlen wenden sich nicht der Anode zu, sondern strahlen geradlinig in die leere Hälfte des Rohres hinein.

Die Abbildung Taf. VIII Fig. 10 zeigt im Gegensatz dazu die beiden Lichtarten in einer gewöhnlichen Geissler'schen Röhre, wobei sie stets durch einen dunkeln Raum, den Trennungsraum, getrennt bleiben.

Man muss also annehmen, dass, intermittirende Entladung vorausgesetzt, in rascher Folge Ströme negativer Elektrizität von der Kathode zur gegenüberliegenden Wandung hin und sofort wieder (zur Anode) zurückgehen. Auf eine genäherte Magnetnadel wird also, da sich die rasch folgenden entgegengesetzten Wirkungen aufheben, keine Wirkung ausgeübt, die Ablenkung erfolgt so, als ob die Entladung nur in dem Raume zwischen beiden Elektroden stattfände, wie es die Versuche von Hertz (1883) wirklich ergeben haben.

1) Goldstein, Wied. Ann. **11**, 844, 1880.

Ebensowenig können sich elektrostatische Wirkungen zeigen. Als deshalb Hertz (1883) mittelst empfindlicher Apparate prüfte, ob ein frei in ein Gefäss hineinstrahlendes Bündel von Kathodenstrahlen nicht etwa (wie ein Bündel elektrischer Glasfäden oder dergl.) elektrische Kräfte nach aussen ausübt, zeigte sich, wie zu erwarten, nicht die mindeste derartige Wirkung.

Apparate von Crookes. Auf die besprochene Eigenthümlichkeit der elektrischen Entladung in sehr verdünnten Gasen gründen sich eine Anzahl hübscher Experimente von Crookes, die geeignet sind, diese Eigenthümlichkeit besonders klar hervortreten zu lassen, in anderer Hinsicht aber auch wohl Verwirrung erzeugen können, falls man die wenigen besonders zugerichteten Experimente benutzen will, allgemeine Schlüsse zu ziehen, wie denn Crookes selbst glaubte, dadurch die eigenthümliche Hypothese der Existenz eines vierten Aggregatzustandes damit beweisen zu können. Besonders interessant erscheinen die folgenden:[1])

1. Zwei kugelfömige Gefässe mit einer plattenförmigen Kathode und drei resp. oben, in der Mitte und unten eingesetzten Anoden, die eine (Fig. 202) mässig, die andere (Fig. 203) sehr stark verdünnte Luft enthaltend. In ersterer sieht man die Entladung als gebogenen röthlichen Streifen sich zu der mit blauem Glimmlicht bedeckten Kathode hinziehen, in der anderen gehen nahezu senkrecht von der Kathode bläuliche Glimmstrahlen aus und die ganze übrige Kugel erfüllt sich mit schwach leuchtendem bläulichen Lichte.

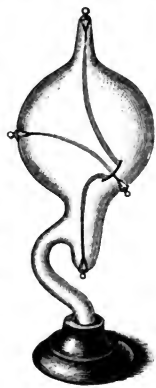


Fig. 202.

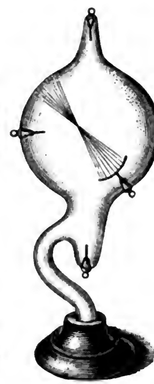


Fig. 203.

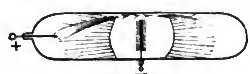


Fig. 204.

Dass es sich hier keineswegs um zwei verschiedene Entladungsarten handelt, sondern nur um eine Beeinträchtigung des Verlaufs der Entladung im zweiten Falle (durch die zu geringen Dimensionen des Gefässes), kann man sich leicht klar machen, wenn man das Gefäss (nicht die Strahlen) so weit vergrössert denkt, dass das positive Licht wie bei Fig. 202 sich unbehindert nach den Enden der blauen Glimmlichtstrahlen[2]) fortsetzen kann.

---

1) Näheres siehe in Crookes „Strahlende Materie", übersetzt von Gretschel, Leipzig 1879.

2) In Wirklichkeit findet nicht wie in der Figur gezeichnet eine Durchkreuzung der Strahlen statt. Vgl. weiter unten.

2. Röhre mit scheibenförmiger, quer gestellter Kathode in der Mitte und kleinen Anoden an den Enden. Zu beiden Seiten der Kathode zeigen sich sehr auffallend der dunkle Kathodenraum und, an der Grenze desselben beginnend, die nach rechts und links geradlinig ausstrahlenden Glimmlichtstrahlen. Von der Anode aus zwängt sich ein dünnes Bündel positiven Lichtes zwischen Kathode und Glaswand hindurch, um die Enden der nach rechts verlaufenden Kathodenstrahlen zu erreichen. (Fig. 204.)

In den üblichen Abbildungen dieser Erscheinung in Lehrbüchern ist jenes dünne Bündel positiven Lichtes nicht angedeutet, so dass man nicht versteht, wie die negative Elektrizität aus der rechten Rohrhälfte wieder herauszukommen vermag.

B. Geringe Elektrodendistanz.

Die nachstehenden Versuche führte ich selbst aus:[2])

1. Zwei plattenförmige Elektroden. Zwei kreisförmige Messingblechscheiben von 3 cm Durchmesser wurden in 2 mm Abstand mit konzentrischen Stromzuleitungen (Messingröhre und Messingdraht mit Glasröhren umgeben) inmitten einer 8 cm weiten cylindrischen Glasflasche angebracht, welche so weit evakuirt wurde, dass der dunkle Kathodenraum eine Dicke bis zu 2,5 cm erreichte. Je nachdem die negative Platte unten oder oben war, hatte dann die Lichterscheinung das Aussehen der Abbildungen auf Taf. VII Fig. 3 und 5.

In dem in Taf. VIII Fig. 7 dargestellten Falle war nur positives Glimmlicht vorhanden, welches durch einen dunkeln Raum scharf abgesondert ist von der blauen nebelartigen Lichtmasse ausserhalb des dunklen Kathodenraumes. Bei den beiden ersteren Figuren folgen auf das positive Glimmlicht mehrere Schichten positiven Lichtes, welche im Wesentlichen senkrecht stehen zur Grenze des dunkeln Kathodenraumes und scheinbar das blaue negative Licht vollständig verdrängen. Die Schichten entwickelten sich nicht symmetrisch um die Achse, sondern bevorzugten die linke Seite des Entladungsgefässes, während auf der rechten Seite die Lichtmasse ebenso wie im vorigen Falle als nebelartiges blaues Glimmlicht erschien.

Aehnlich sind die in den Figg. 5—8 S. 12 dargestellten Versuche[3]), welche bereits oben beschrieben wurden. Auch stimmt damit ein Versuch von J. J. Thomson[4]), welcher zwei gusseiserne Platten, in $1^1/_2$ cm Entfernung horizontal einander gegenübergestellt, in einen Vakuum von 0,1 mm Druck als Elektroden benutzte. Das negative Glimmlicht konnte sich zwischen den Platten nicht ausbilden, sondern erschien nur oberhalb der oberen als Kathode dienenden Platte durch den dunkeln Kathodenraum davon getrennt. Von der

1) Vgl. auch G. Klingenberg, Elektr. Zeitschr. **17**, 221, 1896.

2) O. L., Wied. Ann. **56**, 312, 1895.

3) O. L., Wied. Ann. **22**, 319, 1884.

4) J. J. Thomson, Proc. Cambr. Phil. Soc. **5** (6), 391, 1886.

Glimmlichtschicht ging an einer Stelle (zuweilen auch an mehreren) ein geschichteter Strahl positiven Lichtes um den Rand der Kathode herum zur Anode.

Wurden die oberen Seiten beider Platten bei der in Taf. VIII Fig. 7 dargestellten Vorrichtung mit Glimmerscheiben bedeckt, so dass dort der Strom nicht austreten konnte, so zeigte sich die Lichterscheinung wie Abbildung Taf. VIII Fig. 1, d. h. der sonst 15 mm dicke dunkle Raum zog sich an der freien Plattenoberfläche so weit zusammen, dass das positive oder verdichtete negative Licht noch in dem engen nur 1—2 mm dicken Zwischenraume zwischen beiden Platten Raum finden konnte. Beim Wechsel der Pole nahm der dunkle Raum an der nun aussen befindlichen Kathodenoberfläche seine normale Dicke an, während sich das positive Licht auf den Rand der Anode beschränkte.

2. Eine plattenförmige und eine punktförmige Elektrode. Wurde die eine der beiden Messingscheiben, diejenige welche an dem Draht befestigt war, entfernt, so dass nunmehr das Drahtende als punktförmige Elektrode wirkte, so umgab sich die (nicht mit Glimmer bedeckte) Platte, wenn sie Kathode war, gemäss Abbildung Taf. VIII Fig. 5 nahezu vollständig mit dem dunkeln Raume von normaler Dicke und an die punktförmige Anode setzte sich ein ringsum durch diesen dunkeln Raum begrenztes, geschichtetes, röthliches Lichtbüschel, welches scheinbar kontinuirlich in das blaue Glimmlicht ausserhalb des dunklen Raumes überging.

Beim Wechsel der Pole blieb die Platte dunkel und über dem Drahtende zeigte sich eine Anhäufung von blauem Glimmlicht in Form eines Kugelsegmentes durch den dunklen Raum von der mit rothem Lichte umsäumten Kathode getrennt (Taf. VIII Fig. 2).

3. Eine ringförmige und eine punktförmige Elektrode. Inmitten eines kugelförmigen Glasgefässes von 20 cm Durchmesser wurde ein System von zwei Elektroden, bestehend aus einem 2 mm dicken Messingdraht und einem davon durch ineinander geschobene Glasröhren getrennten Messingrohr von 3 cm Durchmesser, welches letztere bis zum Rande wieder von Glas umgeben war, eingebracht. Der Strom war hierbei genöthigt von dem Drahtende nach der etwa 0,5 mm breiten ringförmigen Endfläche des Messingrohres überzugehen.

War letzteres negativ, so zog sich die Entladung, welche mit halbkugeligen Schichten an dem positiven Drahtende (Taf. VIII Fig. 4) begann, an verschiedenen Stellen mehrere Centimeter tief in den nur etwa 1 mm dicken Zwischenraum zwischen Messingrohr und Glasrohr hinein und erschien daselbst als ein System sehr enger, nur etwa 1—2 mm von einander abstehender röthlicher Schichten, welche das negative Glimmlicht ersetzten. Auch in diesem Falle hat sich somit scheinbar das negative Licht zu positivem verdichtet. Beim Wechsel der Pole erschien an der Anode nur spärliches Glimmlicht, während die Kathode einen halbkugelförmigen Büschel von blauem Glimmlicht aussandte (Taf. VIII Fig. 6).

Zuweilen zog sich aber auch in diesem Falle die Entladung in den Raum zwischen Kathode und Glasröhre hinein, daselbst als hellrothes Licht erscheinend, wobei die Grösse des blauen Glimmlichtbüschels sich erheblich verminderte (Taf. VIII Fig. 8: Kombinirte Gas- und Lichtbogenentladung).

Die der Kathode anliegende Glasröhre wurde hierdurch stark erhitzt, somit leitend und in Folge dessen selbst Kathode, so dass sich nun der Lichtbogen in den Zwischenraum zwischen dieser und der nächsten Glasröhre hineinzog u. s. w.

C. Netzelektroden. (Kanalstrahlen.)

Befindet sich die Kathode im Innern einer netzförmigen, sie vollständig umgebenden Anode, so wird wieder zunächst Bildung der positiven Hülle um die Kathode und positive Ladung der Glaswand erfolgen und dann erst leuchtende Entladung von der Kathode zur Glaswand, so dass man, wie zuerst Goldstein beobachtete, die Kathodenstrahlen aus den Poren der Anode herausdringen sieht[1]) (Taf. IX Fig. 7).

Kehrt man die Elektrisirung der Elektroden um, so dass die Drahtnetzhülle Kathode wird und die Anode sich innen befindet, so sollte man nach der gewöhnlichen Auffassung von der Existenz „Kathodenstrahlen" erwarten, dass nunmehr die Glaswände des Gefässes besonders lebhaft phosphoresziren und das ganze Innere mit blauem Lichte angefüllt sein würde. In Wirklichkeit verhält es sich gerade umgekehrt, Glaswand und Gasinhalt des Gefässes bleiben dunkel, mit Ausnahme eines schwachen Lichtnebels in der Nähe der Kathode, und der Entladungsvorgang spielt sich vollständig im Innern des Drahtkorbes ab. Es ist dies auch leicht verständlich, da in diesem Falle nur wenig positiv elektrische Luft zu den Wandungen des Gefässes gelangen kann, weil sie beim Durchdringen durch die Poren der Kathode festgehalten wird und schliesslich Entladung veranlasst, während im umgekehrten Falle fast alle positive Luft ungehindert zur Glaswand gelangen kann, da sich auf der Kathode ein Ueberzug bildet, welcher den Potentialabfall im Innern des Drahtkorbes stark vermindert.

Auch im ersten Falle kann übrigens direkte Entladung zwischen den beiden Elektroden erhalten werden, so dass also keine Kathodenstrahlen aus dem Drahtnetz kommen, wenn man eine Funkenstrecke in den Schliessungskreis einschaltet. Die Spannung wächst dann so stark an, dass die positive elektrische Lufthülle der Kathode unwirksam wird.

Ist die Drahtnetzelektrode negativ, so kann man auch die positive Entladung die negative durchsetzen sehen. Die Anode umgiebt sich nämlich mit bläulichem Licht, welches an einer Stelle oder an mehreren die Poren des Drahtnetzes durchbricht und aussen unmittelbar in einen blauen Büschel übergeht. Offenbar bewirkt die Erhitzung der Luft, dass die Entladung sich immer

1) O. L., Wied. Ann. **56**, 340, 1895.

an derselben Stelle wiederholt und positiver und negativer Büschel vollständig zusammenfallen, scheinbar ein homogenes Lichtgebilde darstellend.

Die Struktur dieser kombinirten Büschel tritt deutlicher hervor bei Anwendung einer cylindrischen Kathode aus Kupferblech von 10 cm Durchmesser, in welche Löcher verschiedener Grösse angebracht sind, bei Benutzung der Dynamomaschine als Stromquelle.

Das Blech überzieht sich innen und aussen mit blauem Glimmlicht, welches sich auch um die Ränder der Oeffnungen herumzieht, wenn diese genügend weit sind, um den dunkeln Kathodenraum aufzunehmen. Aus den engeren Oeffnungen tritt nur ein schmaler Glimmlichtsaum nach der Aussenseite und in der Mitte der Oeffnung erscheint gewöhnliches röthliches Licht. Bei sehr engen zeigt sich nur das geschichtete rothe Licht, welches sich in einen schmalen Pinsel verlängernd gegen die nächste grössere Glimmlichtfläche hinbiegt (Taf. IX Fig. 1) oder auch gerade aus nach der Glaswand weist. Dabei kann gleichzeitig auch ein von dem Glimmlichtsaum der Oeffnung gebildeter blauer Trichter auftreten. An den Wänden des Blechcylinders zeigt sich öfters geschichtetes positives Licht, dessen Schichten senkrecht zur Oberfläche des dunkeln Raumes stehen, d. h. sich fächerförmig um den scharfen Rand des Bleches anordnen.

Man sieht also, dass sich die positive Entladung dicht an der Grenze des dunklen Raumes hinzieht und nicht oder nur zum Theil durch diesen in die Kathode eintritt, sondern grösstentheils gegen die Glaswand hin fortsetzt, welche dadurch positiv elektrisirt wird. Die Kathodenstrahlen, welche die Wand wieder entladen, werden nicht sichtbar.

Besteht die Kathode aus einem siebartig durchlöcherten Blech, welches das Gefäss in zwei Theile scheidet, von welchen der eine die Anode enthält, so zeigt sich nach Goldstein (1886) auf der Vorderfläche, d. h. der der Anode zugewandten Seite der Kathode, das gewöhnliche blaue Glimmlicht mit schmaler gelber erster Schicht. „An der Rückseite dagegen entwickelt sich das gelbe Licht in hohen Feuersäulen. Blaues Licht zeigt sich bei hinreichender Gasverdünnung an dieser Seite der Kathode gar nicht, der Zuleitungsdraht ist völlig lichtlos, so dass also in dem an der Rückseite der Kathode gelegenen Röhrentheil das von der Kathodenplatte ausgesandte gelbe Licht die einzige Lichterscheinung bildet . . . .

Das gelbe Licht besteht aus regelmässigen Strahlen, welche geradlinige Ausbreitung haben. Vor einer jeden Oeffnung der Kathode steigt ein gerades, helles, schwach divergentes gelbes Strahlenbündel auf. Die einzelnen hellen Bündel sind umhüllt von einem weit ausgebreiteten, sehr lichtschwachen, im Allgemeinen mit den Bündeln gleich gefärbten Nebel . . . .

Die Achsen der gelben Bündel sind stets so gerichtet, als wenn jede die nach rückwärts gezogene Verlängerung desjenigen blauen Strahles wäre, der an der Vorderseite der undurchbrochen gedachten Kathode da entspringen würde, wo sich der Mittelpunkt der Oeffnung befindet . . . .

Während die dritte Schicht des Kathodenlichts, also an der Vorderfläche dessen Hauptmasse, das Bandenspektrum darbietet, zeigen die Strahlen an der Rückseite der Kathode das reine Vierlinienspektrum . . . .

Die bisher bekannten Kathodenstrahlen erregen bei geringer Gasdichte bekanntlich sehr helle (grüne) Phosphoreszenz der Glaswand. Den Kanalstrahlen geht diese Fähigkeit fast vollständig ab. Es bedarf schon der Aufmerksamkeit, um das äusserst schwache grüne Leuchten der Glaswand, welches die hellsten Kanalstrahlen hervorrufen, wahrzunehmen . . . .

An der Rückseite der Kathode erfolgt, wenn nur Kanalstrahlen von ihr ausgehen, keine Spur von Zerstiebung.

Haben die Kanäle der Kathode (die aus einer ca. $^1/_2$ mm dicken Platte gebildet ist) einen Durchmesser von mehr als $^2/_3$ mm, so tritt bei mässiger Gasverdünnung auch an der Rückseite gewöhnliches Kathodenlicht auf. Je weiter die Verdünnung fortschreitet, desto lichtschwächer wird es indess, um zuletzt nur die Kanalstrahlen übrig zu lassen. Je enger die Kanäle sind, bei desto höherer Dichte treten die Kanalstrahlen bereits rein auf. Ueberschreitet der Durchmesser der Kanäle aber eine gewisse Grösse, so entwickeln sich auf der Rückseite der Kathode an den Oeffnungen ellipsoidische grell leuchtende Lichtbüschel, bei deren Auftreten die Kanalstrahlen theils objektiv in ihrer Entwicklung beeinträchtigt zu werden scheinen, theils für die Beobachtung überglänzt werden . . . .

Es zeigte sich, dass die Kanäle desto grössere Durchmesser erhalten konnten, ohne die störenden Ellipsoidbüschel zu zeigen, je dicker die Kathodenplatte gewählt wurde. Anstatt dicke Platten zu nehmen, kann man auch auf die Oeffnungen dünner Platten an der Rückseite cylindrische Röhrchen aufsetzen . . . .

Eine Kathode wie Fig. 205, bestehend aus einer dünnen Platte mit $3^1/_2$ mm weiter Durchbohrung, auf welche ein ebenso weites, 2 cm langes Metallröhrchen aufgelöthet ist, liefert ein Bündel Kanalstrahlen, das schon beim Austritt $3^1/_2$ mm Dicke hat . . . ."[1])



Fig 205.

Die Ellipsoidbüschel bei den Goldstein'schen Versuchen sind augenscheinlich identisch mit den zuvor angeführten positiven Büscheln bei meinen Versuchen. Ob bei letzteren auch Kanalstrahlen auftraten, vermag ich nicht anzugeben, da ich keine Gelegenheit hatte dieselben bei genügend hoher Luftverdünnung zu wiederholen.

Nach Goldstein's Ansicht sind Kanalstrahlen und positive Büschel ganz verschiedene Phänomene, da die „Kanalstrahlen" nicht wie die positiven Büschel durch ein magnetisches Feld beeinflusst werden. Indess wird man meiner An-

1) Vergleiche auch die Untersuchungen von H. Ebert und E. Wiedemann mit hohlen Sekundärelektroden aus Drahtnetz (Wied. Ann. **62**, 180, 1897), welchen zufolge die Entladung selbst in ringsum geschlossene Behälter aus feinmaschigem Drahtnetz einzudringen vermag, wenn die Luft auf passenden Druck verdünnt ist.

sicht nach hieraus nur schliessen können, dass die Kanalstrahlen früher auftreten als das positive Büschellicht, wenn man nämlich die Wirkung der magnetischen Kraft so deutet, wie dies weiter unten geschieht.

Der oben dargelegten Ansicht, dass durch die Glimmlichtstrahlen die Glaswände negativ geladen und durch das positive Büschellicht wieder entladen werden, hat man entgegengehalten, dass dann beim Ableiten der Glaswand in Folge der Heranziehung entgegengesetzter Influenzelektrizität durch den ableitenden Draht die Lichterscheinungen an der betreffenden Stelle in verstärktem Maasse auftreten müssen, während bei Batterieentladungen[1]) sich keinerlei Einfluss der Ableitung bemerkbar macht.

Dieser Einwand berücksichtigt indess nicht, dass die elektrischen Störungen bei der Entladung möglicherweise so rasch verlaufen, dass sie nicht einmal bei Anschaltung eines Kondensators mit metallischen Zuleitungen sich bis zu dessen Belegungen fortpflanzen können. Eine Bewegung der Elektrizität in dem ableitenden Draht ist in solchem Falle nicht möglich.

Durch folgenden Versuch kann man sich aber leicht davon überzeugen, dass auch bei Batterieentladungen Ströme zur Glaswand und zurück möglich sind.

Ueber das früher benutzte Plattenpaar (Taf. VII Fig. 3) wird ein ziemlich dicht anschliessendes Becherglas gestürzt (Taf. VII Fig. 4), so dass, wenn die obere Platte Kathode ist, der dunkle Raum sich nicht mehr entwickeln kann. Man sieht dann von der Unterseite der Anode eine bläuliche Lichtmasse sich um den Rand des Becherglases herum nach oben ziehen, wo sie auf dem die Kathode bedeckenden Boden des Becherglases endet.

Dieser Verlauf der Entladung ist weder mit der Annahme geradlinig fortschreitender Kathodenstrahlen, noch mit der Annahme kontinuirlicher Entladungen verträglich, erscheint aber ganz selbstverständlich nach der von mir dargelegten Auffassungsweise. Da die Kathode dicht mit positiver Luft umhüllt ist, findet zunächst Büschelentladung zwischen der freien Fläche der Anode und dem Boden des Becherglases um den Rand des letzteren herum statt, wodurch der Boden positiv elektrisch wird. Alsdann entladet sich auf demselben Wege die Kathode und beseitigt die positive Ladung des Glases wieder, so dass der Prozess von neuem beginnen kann.

Ist die obere Platte Anode, so bleibt das blaue Licht — die Kathodenstrahlen — in das Becherglas eingeschlossen (Taf. VIII Fig. 3). Kleine Säulchen von positivem Licht zwischen den Plattenrändern und dem Becherglas deuten an, dass nun die Entladung, welche in Folge der grösseren Ausdehnung der freien Kathodenoberfläche bei geringerer Spannung eintritt, von der Anode gegen die Innenwand des Becherglases stattfindet. Letztere wird sodann in gleicher Weise wie zuvor durch die Kathodenstrahlen oder Glimmlichtstrahlen entladen.

1) Bei unzureichenden Elektrizitätsquellen, wie Induktorium und Elektrisirmaschine, entstehen sogenannte sekundäre Kathodenstrahlen.

49. Ausbreitung der Kathodenstrahlen.

Bereits im vorigen Jahrhundert war bekannt, dass beim Ueberschlagen von Funken über Kreide, Zucker u. s. w. die getroffenen Stellen der Körper helles Phosphoreszenzlicht auszusenden vermögen.[1])

Auch in mässig ausgepumpten Vakuumröhren lässt sich (meinen Beobachtungen zufolge) solches Phosphoreszenzlicht beobachten. Geht nämlich die Entladung in Zickzackform durch eine solche Röhre, so zeigt es sich überall da, wo der Funke auf die Röhrenwand auftritt.

In hoch evakuirten Röhren ist es zuerst von Davy[2]) beobachtet worden.[3])

Nach Gassiot[4]) ist es in Flintglasröhren blau, in Kaliglasröhren grün.

Plücker[5]) schreibt darüber: „Anfänglich hatte ich dasselbe für eine subjektive Kontrastfarbe gehalten, später, als diese allgemein angenommene Ansicht sich als unhaltbar darstellte, drängte sich die Anschauung auf, es sei eine im Glase selbst auftretende Farbe. Es ist aber Licht im Innern der Röhre, das sich immer an die inneren Wandungen derselben so anlegt, dass es genau die Ungleichheiten derselben wiedergiebt und daher den Eindruck macht, als ob es dem Glase selbst eigenthümlich zukäme. Erst der Magnet gab diese Aufklärung. Bei der Kommutation der Pole desselben wurde es in der Nähe des Wärmepols hin- und herbewegt und sammelte sich dann da wieder an, wo die durch magnetische Kurven gebildete Fläche das Glas berührte. Wenn in Folge einer Verschiebung der Röhre diese Fläche mit dem Glase an einer Stelle in Berührung kommt, wo dieses früher nicht der Fall gewesen war, so tritt auch sogleich das grüne Licht daselbst auf.“

Später (1859)[6]) erklärt Plücker, dass er nun nicht mehr zweifle, dass das Licht einer Fluoreszenz des Glases zuzuschreiben sei.

Nachdem das Licht im Innern der Kugel kaum mehr sichtbar war, trat die schöne grüne Färbung des Glases (diese Färbung ist in dem Falle von bleihaltigem Glase eine blaue) immer mehr hervor und verbreitete sich gleichmässig über die ganze Kugel. Auch Spiralen des positiven Lichtes zeichneten sich sehr bestimmt in grünem Lichte auf der Glaswandung.[7])

1) Siehe Cuthbertson, Ath. u. Elektr. S. 141. 1786.

2) Davy, Gilb. Ann. **72**, 362, 1822.

3) Vgl. auch Crookes, Chem. News. **63**, 53, 1891.

4) Gassiot, Fortschr. **15**, 450, 1858.

5) Plücker, Pogg. Ann. **103**, 104, 1858.

6) Plücker, Pogg. Ann. **107**, 111, 1859.

7) Hier liegt wohl eine Verwechslung mit spiralig gewundenen Kathodenstrahlen vor, welche Plücker noch nicht kannte. Vgl. auch die Abbildung einer Geissler'schen Röhre, in welcher Phosphoreszenzlicht auftritt, in Th. Meyer, Das geschichtete elektr. Licht, Bonn 1858, Taf. III Fig. 1.

Nach Hittorf[1]) soll die Phosphoreszenz nur bei „äusserster Verdünnung" auftreten, Crookes glaubte, dass dazu eine Verdünnung von einigen Milliontel Atmosphären erforderlich ist, Puluj findet 0,09 — 0,02 mm für hinreichend.[2]) Goldhammer[3]) beobachtete sie schon bei 1,2 — 0,8 mm, bei 0,8 — 0,9 mm war sie sehr intensiv. Dabei war die Ausbreitung der Glimmlichtstrahlen nie so beträchtlich, um die Röhrenwände zu erreichen.

Goldstein (1876 und 1879) bemerkt darüber:

„Das bisher als sekundäres Phänomen wenig beachtete grüne Licht, welches bei gewissen Dichten und Entladungsintensitäten, am auffallendsten um die negative Elektrode aus gewöhnlichem Glase geformter Röhren auftritt, habe ich in ausgedehnten Versuchsreihen, theils als direktes Objekt, theils als Hülfsmittel derselben untersucht.

Hierbei hat sich gezeigt, dass das Leuchten der Glaswand nicht als ein Fluoreszenzphänomen, sondern als eine Erscheinung der Phosphoreszenz zu betrachten ist, da es die erzeugende Entladung beträchtlich überdauert.[4])

Während seiner Dauer kann die Farbe dieses Leuchtens sich sogar ändern geht z. B. bei gewöhnlichem Glase, mit Grün beginnend, in Gelbroth über. ...

Bei den Platindoppelcyanüren gelang es mir, erstens diejenigen Leuchtfarben zu gewinnen, welche Herr Hagenbach (Pogg. Ann. Jubelband) als die Fluoreszenzfarben der betreffenden Salze beschreibt, ausserdem aber eine Reihe von Leuchtfarben zu beobachten, die Herr Hagenbach noch unerwähnt lässt.

So giebt Herr Hagenbach für Magnesiumplatincyanür die Leuchtfarben: Roth, Ziegelroth und Gelbgrün.

Ich fand als Leuchtfarben des Salzes unter dem Einflusse der Kathodenstrahlen bei starker Gasverdünnung: Ziegelroth, intensives Apfelgrün, weissliches Grün, weissliches Blau, starkes Dunkellasur-Blau, blendend helles Gelb.

Für das Calciumsalz giebt Hagenbach: Gelbgrün, Gelb, Orange.

Ich fand ausserdem: Dunkelgrün, Violett, Blau und Grünblau.

Nach Möglichkeit entwässerte Proben dieser Salze ändern ihre Leuchtfarbe noch bei variirender Temperatur.

So z. B. leuchtet das durch andauerndes starkes Erhitzen im Vakuum entwässerte Ca-Salz kalt mit gelblichem Grün, mässig erwärmt Grünblau, bei weiterer Erhitzung Blau, bei noch höherer Temperatur hört es auf zu leuchten. Beim entwässerten Magnesiumsalz folgen sich mit aufsteigender Erhitzung die Leuchtfarben: Gelb, Gelbgrün, Grün. Bei der Abkühlung des Salzes treten die Farben in der umgekehrten Reihenfolge auf, um bei neuer Erhitzung wieder in der erstgenannten Folge zu wechseln.

Auch da, wo eine Differenz im Wassergehalte von vornherein nicht als Erklärungsgrund herangezogen werden kann, und unter gleichen Temperatur-

1) Hittorf, Pogg. Ann. **136**, 198, 1869.
2) Puluj, Wien. Ber. (2) **80**, 875, 1879.
3) Goldhammer, Beibl. **9**, 468, 1885.
4) Vgl. auch E. Becquerel (1885).

verhältnissen, zeigen Modifikationen einer und derselben chemischen Substanz den erregenden Strahlen gegenüber oft ein sehr verschiedenes Verhalten. So leuchtet Kreide (kohlensaurer Kalk) mit prachtvoll hellem Orangeroth; die gleiche Farbe, aber minder lichtstark, zeigt Doppelspath; viel matter als dieser wieder leuchtet Marmor; Perlmutter konnte nicht mehr mit Sicherheit für leuchtend erklärt werden, und bestimmt lichtlos bleibt Aragonit."

Ausgedehnte Versuche über die Phosphorescenzerscheinungen haben ferner Crookes[1]), Puluj[2]), E. Wiedemann (1880), C. G. Schmidt, Lenard, Arnold u. A.[3]) gemacht. Besonders schönes Licht geben Sidot'sche Blende (Schwefelzink) und die von E. Wiedemann untersuchten „festen Lösungen".

Durch längere Einwirkung der Kathodenstrahlen verschwindet die Phosphoreszenzfähigkeit, so dass, wenn man zunächst durch eine Kathode einen

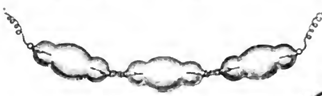


Fig. 206.

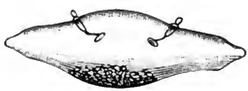


Fig. 207.

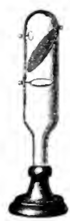






Fig. 208. Fig. 209. Fig. 210.

hellen phosphoreszirenden Fleck erzeugt und kurz darauf durch eine andere Kathode die ganze Glaswand zum Leuchten bringt, der früher helle Fleck nun dunkel erscheint. Bei Kreide konnte indess Goldstein (1879) die Erscheinung nicht beobachten.

Die Figg. 206 und 207 zeigen die von Crookes angegebenen Formen von Phosphoreszenzröhren, die Figg. 208 bis 210 stellen Phosphoreszenzröhren nach Puluj dar. Bei der ersteren erzeugen die auf den schiefstehenden mit Leuchtfarbe bestrichenen Glimmerschirm auftreffenden Kathodenstrahlen so intensives Licht, dass die Röhre als Lampe gebraucht werden kann.

Zum Nachweis des Einflusses der Zeitdauer eignet sich die in Fig. 209 dargestellte Puluj'sche Röhre, bei welcher der in der Mitte durch die Hitze

1) Crookes, Wied. Ann. **11**, 838, 1880.

2) Puluj, Wien. Ber. **81**, 15. April, 1880.

3) Die Literatur hierüber ist, namentlich in Folge der Entdeckung der Röntgenstrahlen, so angewachsen, dass sie hier nicht berücksichtigt werden kann. Sie findet sich z. Th. weiter unten unter „Elektrische Strahlung", vollständig in Wiedemann's Beiblättern.

ausgelöschte, also ringförmig erscheinende Phosphoreszenzfleck auf dem vertikal herabhängenden Glimmerschirm sich nach und nach vergrössert.

Geht ein durch Einschaltung eines Diaphragmas isolirtes Bündel von Kathodenstrahlen sehr nahe neben einer phosphoreszenzfähigen Substanz vorbei, ohne dieselbe wirklich zu treffen, so wird diese nicht zum Leuchten gebracht.

Nach Goldstein (1880) genügt ferner schon ein nur hunderttausendstel Millimeter dicker Ueberzug von Kollodium, um das Phosphoresziren der Glaswand zu verhindern. Sehr dünne Metallschichten lassen dagegen, wie Hertz und E. Wiedemann gefunden haben, die Wirkung durch.

Dieselben phosphoreszirenden Präparate, welche in der Vakuumröhre sehr schön leuchten, geben ausserhalb derselben gar keine Wirkung.

Die Ursache der Kathodolumineszenz ist nach Goldstein[1]) das Auftreten einer ganz dünnen Schicht von ultraviolettem Licht an der Stelle, wo die Kathodenstrahlen den phosphoreszirenden Körper treffen. Hierdurch erklärt sich, dass Kathodenstrahlen auf doppeltchromsaures Kali, Chlorsilber und oxalsaures Eisenoxyd direkt photographisch einwirken können.

Neueren Beobachtungen Goldsteins[2]) zufolge erstrecken sich diese chemischen Wirkungen aber auch auf Chlornatrium, Chlorkalium, Bromkalium, Jodkalium u. s. w., wobei wohl von einer Wirkung ultravioletten Lichtes keine Rede sein kann.[3])

Das Interessanteste bei allen diesen Beobachtungen ist nun, was bereits Plücker wahrgenommen hatte, dass das Phosphoreszenzlicht immer nur da auftritt, wo die Glimmlichtstrahlen das Glas treffen und dass es da fehlt, wo die Glimmlichtstrahlen[4]) durch ein Hinderniss aufgehalten werden, so dass, da die Glimmlichtstrahlen sich in gerader Richtung fortpflanzen, ein Schatten des Hindernisses auf der phosphoreszirenden Fläche entstehen muss, der ähnlich aussieht wie ein optischer Schatten. Gerade dieser Umstand hatte dazu geführt, von Glimmlichtstrahlen oder (nach Goldstein) Kathodenstrahlen zu sprechen. Hittorf (1869) schreibt:

„Jeder feste oder flüssige Körper, er sei Isolator oder Leiter, welcher vor der Kathode sich befindet, begrenzt das Glimmlicht, welches zwischen ihm und letzterer liegt; es findet keine Abbiegung aus der geraden Richtung statt.... Wir werden daher im Folgenden von den geradlinigen Bahnen oder den

---

1) Goldstein, Wied. Ann. **11**, 832, 1880.

2) Goldstein, Wied. Ann. **60**, 491, 1897.

3) Frühere Beobachtungen über die Einwirkung von Kathodenstrahlen auf Salze siehe Goldstein, Wied. Ann. **54**, 371, 1895, ferner unter „elektrische Strahlung."

Nach Warburg, Wied. Ann. **54**, 730, 1895 nimmt Bleioxyd unter Einwirkung der Kathodenstrahlen Sauerstoff auf. Es lässt sich nachweisen, dass die Wirkung nicht von ultravioletten Strahlen herrührt, welche eine Quarzplatte durchsetzen können.

(Vgl. auch oben unter „Zerstäubung" die Absorption von Gasen beim Durchgang des Stromes durch Vakuumröhren.)

4) Nach Spottiswoode und Moulton, Beibl. 8, 74, 1884 vermag auch das positive Licht unter Umständen Phosphoreszenz zu erregen.

Strahlen des Glimmens sprechen und jeden Punkt der Kathode als Spitze eines Strahlenkegels annehmen."

Einen Apparat, welcher diese Erscheinung sehr schön zeigt und in Fig. 211 dargestellt ist, hat Crookes ersonnen. Die Kathodenstrahlen fallen auf ein Kreuz von Aluminiumblech, welches gleichzeitig als Anode dient. In Folge dessen entsteht auf der phosphoreszirenden Rückwand des Gefässes ein Schatten des Kreuzes.

Nach und nach erkannte man indess, dass sich die Sache doch nicht ganz so verhält wie Plücker und Hittorf angenommen hatten.

Eilhard Wiedemann[1]) war der erste, der den Unterschied zwischen Glimmlichtstrahlen und Kathodenstrahlen klarlegte. Fig. 212 giebt die von ihm gegebene Zeichnung wieder, aus welcher ersichtlich ist, dass die vom Punkte *l* der Kathode *k* ausgehenden

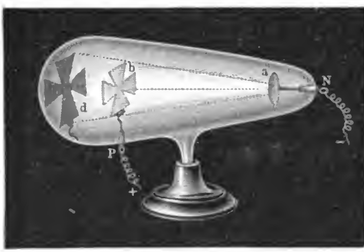


Fig. 211.



Fig. 212.

Kathodenstrahlen den dunkeln Kathodenraum, die Glimmlichtstrahlen den Trennungsraum und das positive Licht durchsetzen.

Auch Goldstein[2]) fand später, dass seine frühere Ansicht über die Identität von positivem und negativem Licht insofern nicht zutreffend ist, als scheinbar jede dieser Lichtarten aus dem eigentlichen Glimmlicht und den Kathodenstrahlen zusammengesetzt ist. Das Glimmlicht folgt in seiner Form dem Verlauf der Strombahn, die Kathodenstrahlen dagegen pflanzen sich im Wesentlichen geradlinig fort. Hinter einem Hinderniss, welches einen Schatten auf der phosphoreszirenden Fläche entwirft, schliesst sich das Glimmlicht sofort vollständig wieder zusammen, während die Kathodenstrahlen abgeschnitten werden. Gleiches gilt von einer zweiten Kathode, welche Deflexion der Kathodenstrahlen bewirkt. Den gelben Lichtsaum an der Kathode, welcher auch für sich allein auftreten kann, hält Goldstein

1) Eilhard Wiedemann, Wied. Ann. **20**, 757, 1883.
2) Goldstein, Wied. Ann. **51**, 622, 1894.

für eine dritte, sowohl von dem Glimmlicht, wie von den Kathodenstrahlen verschiedene Lichtart. Von den Figg. 213, 214 und 215 zeigt die erste

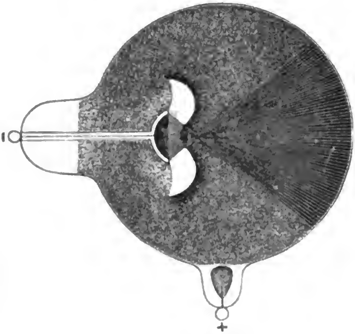


Fig. 213.

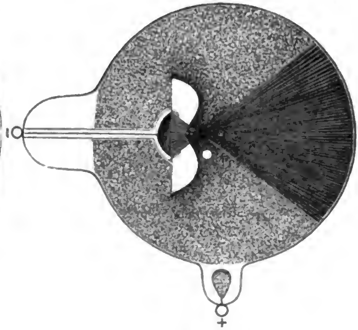


Fig. 214.

(auch Goldstein) die von einer hohlspiegelförmigen Kathode ausgehenden Kathodenstrahlen in einer von Glimmlicht (bis auf einen [in der Figur weiss erscheinenden] dunklen Raum in der Nähe der Kathode) erfüllten evakuirten Glaskugel, die beiden folgenden deuten das Verhalten der Kathodenstrahlen, sowie des Glimmlichts gegen ein Hinderniss an.

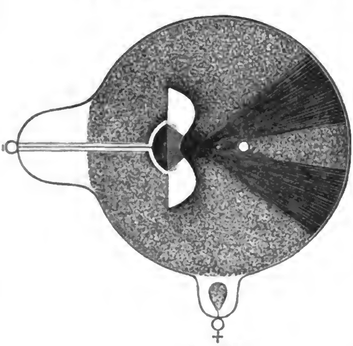


Fig. 215.

Indess auch diese neuere Ansicht hat sich als nicht ganz korrekt erwiesen.

Nach L. Weber[1]) schneiden sich die Kathodenstrahlen bei Anwendung einer hohlspiegelförmigen Kathode keineswegs im Konvergenzpunkt, sondern nähern sich nur und entfernen sich dann wieder. Er schliesst dies daraus, dass das Bild einer sternförmigen äusseren Elektrode an einem kugelförmigen Gefäss nicht umgekehrt, sondern aufrecht erscheint.

Gintl[2]) machte zu gleicher Zeit auf den Widerspruch zwischen der von Crookes behaupteten gegenseitigen Abstossung der Kathodenstrahlen und ihrer Konvergenz bei einer Hohlkathode aufmerksam.

1) L. Weber, Carl. Rep. **16**, 240, 1880.
2) Gintl, Beibl. **4**, 488, 1880.

Auch Goldstein fand bei Anwendung polygonaler einen sternförmigen Phosphoreszenzfleck erzeugenden Hohlkathoden eigenthümliche Anomalien, die sich mit der geradlinigen Fortpflanzung senkrecht zur Kathodenoberfläche nicht vereinigen liessen.[1])

Verdeckt man den oberen Theil eines Kathodenpolygons durch einen zwischen Kathode und Krümmungsmittelpunkt ihr nahe gestellten Schirm, so fehlen dann im Bilde ebenfalls die oberen Sternarme. Die letzteren werden also nicht, wie man wohl erwartet hätte, durch die Strahlung der diametral gegenüberliegenden Theile der Kathode erzeugt. Auch ändern sich die Bilder wesentlich mit der Gasdichte. Die Strahlen können somit nicht streng geradlinig sein.

Matthiessen[2]) macht, ebenso wie L. Weber, darauf aufmerksam, dass keine Kreuzung der Kathodenstrahlen im Brennpunkt einer hohlspiegelförmigen Kathode eintritt, die Strahlen vielmehr gewissermaassen beim Zusammentreffen von einander abprallen, wie man daraus erkennt, dass der Schatten eines

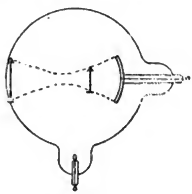


Fig. 216.

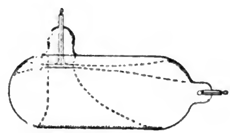


Fig. 217.

zwischen Kathode und Brennpunkt eingeschalteten Gegenstandes auf der phosphoreszirenden Glaswand gerade die umgekehrte Lage hat, als der geradlinigen Fortpflanzung der Strahlen entsprechen würde (Fig. 216).

Klingenberg (1896) kommt durch ähnliche Beobachtungen zu gleichem Resultate. „Es scheint die Anode eine gewisse anziehende Kraft auf die Strahlen auszuüben und zwar desto mehr, je geringer die Verdünnung in der Röhre ist.“ In Fig. 217 z. B. sieht man sowohl von den Rändern wie von Vorder- und Rückseite der plattenförmigen Kathode Strahlen ausgehen. Das von der Vorderfläche ausgehende Strahlenbündel ist deutlich gegen die rechts befindliche Anode hin verzerrt. (Vgl. ferner „Kathodenstrahlen“ unter „Elektr. Strahlung.“)

Endlich lässt sich nicht recht verstehen, weshalb die getroffene Stelle der Glaswand sehr stark erhitzt wird und welches denn die wahre Bahn des Stromes sein soll, welcher doch die Quelle dieser Wärmeenergie ist.

Das Auftreten der intensiven Hitze an dem von Kathodenstrahlen getroffenen Theile der Glaswand beobachtete bereits Gassiot[3]), als er die draht-

1) Goldstein, Wied. Ann. **15**, 259, 1882.

2) Matthiessen, siehe auch Klingenberg, Elektrotechn. Zeitschr. **17**, 221, 1896.

3) Gassiot, Fortschritte d. Physik **17**, 565, 1862.

förmige Kathode mit einer eng anschliessenden, noch darüber hervorragenden Glasröhre umhüllte und Hittorf[1]) konnte durch die Hitze des Glimmlichtes sogar eine Platinanode zum Schmelzen bringen.

Lässt man die Kathodenstrahlen durch Anwendung einer hohlspiegelförmigen Kathode gegen einen Punkt der Gefässwand oder eines beliebigen andern Körpers konvergiren, so entsteht dort nach den Beobachtungen von Crookes (1879) und Cunnington eine so grosse Hitze, dass Platiniridiumblech lebhaft weissglühend und Glas geschmolzen wird (Fig. 218).



Fig. 218.

Goldhammer[2]) beobachtete mit dem Auftreten des Phosphoreszenzlichtes bei hoher Verdünnung das Auftreten starker Elektrisirung der Glaswand. In Zusammenhang damit steht wohl, dass, wie Gouy[3]) beobachtete, beim Erhitzen der von Kathodenstrahlen getroffenen Wand einer Vakuumröhre bis zum Glühen sich dieselbe an den Stellen, wo die Kathodenstrahlen aufgetroffen waren, trübt in Folge der Ausscheidung zahlreicher Gasbläschen. Vermuthlich sind diese Gase durch Elektrolyse des Glases entstanden.

Die von Goldstein beobachteten Färbungen von Alkalihaloidsalzen lassen sich in gleicher Weise erhalten, wenn die Salze in den Dämpfen der betreffenden Alkalimetalle erhitzt werden, vielleicht in Folge einer von diesen ausgesandten Strahlung (vgl. unter „Strahlung").

Eine plausible Erklärung aller dieser Eigenthümlichkeiten scheint nur möglich zu sein, wenn man nicht mit Hittorf, Goldstein, E. Wiedemann u. A. die Kathodenstrahlen als eine Art phosphoreszenzerregender Lichtstrahlen auffasst, sondern als wirkliche Ströme, welche negative Elektrizität zur Glaswand fördern, von wo sie dann durch die positive Büschel- oder Glimmentladung sofort wieder neutralisirt wird, wie wir es aus andern Gründen schon oben angenommen hatten. Die chemischen Aenderungen wären dann als Elektrolyse durch Wechselstrom aufzufassen und die Wärme wäre die Folge der Rückbildung der zersetzten Stoffe.[4])

E. Wiedemann[5]) macht hiergegen geltend: „Bringt man auf eine Stelle der Aussenwand einer evakuirten Glasröhre eine metallische Belegung und verbindet dieselbe mit dem Induktorium, so wird von der betreffenden Stelle die

1) Hittorf, Pogg Ann. **136**, 210, 1869.

2) Goldhammer, Beibl. **9**, 468, 1885. Vgl. auch unter „elektrische Strahlung."

3) Gouy, C. R. **122**, 775, 1896.

4) Da die Wärme auch an Metallen auftritt, müsste man freilich annehmen, dass auch Metalle einer Zersetzung fähig sind. (Vgl. S. 108.) Auch die weiter unten zu besprechenden Phosphoreszenzerscheinungen durch Lenardstrahlen und Röntgenstrahlen sind zunächst schwer zu erklären, wenn man nicht konsequent bleiben und in diesen Strahlen eine (der Theorie nach unmögliche) longitudinale elektrische Strahlung sehen will.

5) E. Wiedemann, Wied. Ann. **10**, 251, 1880.

innere Wand des Rohres abwechselnd zur negativen und positiven Elektrode. Trotzdem habe ich an ihr kein grünes Leuchten beobachten können."

Der Einwand lässt sich dadurch entkräften, dass es auch auf die Intensität der Entladungen ankommen wird und namentlich auf die Zahl der Stromwechsel pro Sekunde, die bei der Bildung der Kathodenstrahlen eine enorm viel grössere sein muss als die der Stromwechsel bei einem Induktionsapparat.

Aber weshalb sind gemäss Fig. 213 die Kathodenstrahlen verschieden von den Glimmlichtstrahlen? Warum besitzen sie grosse Starrheit, während die Glimmlichtstrahlen sich um Hindernisse herumbiegen können? Warum erregen die Glimmlichtstrahlen kein Phosphoreszenzlicht?

Die Antwort hierauf glaube ich darin finden zu können, dass die Kathodenstrahlen Theile einer schwachen Funkenentladung[1]) sind, die neben der Glimmentladung alternirend mit derselben stattfindet und natürlich weit grösserer (momentaner) Stromstärke entspricht als letztere, so dass auch ihre Wirkungen weit kräftiger sein müssen. Ein Kathodenstrahlenbündel ist eine Funkenentladung von der Kathode durch den dunkeln Kathodenraum gegen die Glaswand.

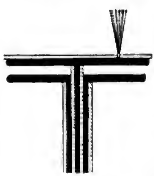


Fig. 219.

Der dunkle Kathodenraum stellt ein beträchtliches Hinderniss für die Entladung dar, ähnlich wie eine (nicht ganz) isolirende Schicht auf der Kathode. Die Bildung von Kathodenstrahlen bedeutet Durchbrechung desselben.

In der That kann man ähnliche Strahlenbündel erhalten, wenn man ihn durch einen wirklichen Isolator ersetzt.

Benutzt man beispielsweise die beiden Platten Taf. VII Fig. 3 in der Weise, dass man die obere als Kathode dienende mit einem Glimmerblatt bedeckt (Fig. 219), so dass dieses in Folge der sich ansetzenden positiven Ionen aussen negativ, innen positiv elektrisch wird, so erfolgt bald Durchbrechung desselben an einer Stelle, und man sieht dort ein dünnes Bündel blauer Strahlen austreten, welche geradlinig gegen die Glaswand des Gefässes fortschreiten und dort, grünes Phosphoreszenzlicht hervorrufend, mit dem von der Anode kommenden positiven Licht, welches aber meist nicht sichtbar ist, zusammentreffen.[2])

Die Erscheinung hat eine gewisse Aehnlichkeit mit der von W. Holtz beobachteten Wirkung eines Seidenzeugüberzuges auf einer plattenförmigen Elektrode in freier Luft.[3])

---

1) Richtiger einer der Funkenentladung im Prinzip ähnlichen explosiven Entladung, bei welcher der Prozess (nicht wie bei der Funkenentladung) durch die Bildung von Metalldampf, sondern vielleicht durch Bildung entladend wirkender Strahlen von selbst verstärkt wird, ähnlich wie eine Explosion durch die von ihr selbst hervorgebrachte Temperatur- und Druckerhöhung.

2) O. L., Zeitschr. f. phys. Chemie **18**, 114, 1895.

3) Vgl. oben S. 4 und O. Lehmann, Molekularphysik **2**, 309; ferner G. Quincke, Sitzungsber. d. Berl. Akad. **28**, 525, 1895.

Das durch den elektrischen Wind von Seiten der Anode positiv gemachte Seidenzeug haftet, ohne seine Elektrizität zu verlieren, mit grosser Kraft an der Kathode und veranlasst, dass hier nicht wie gewöhnlich Büschel-, sondern Glimmentladung eintritt.

Dickere Seidenzeugüberzüge veranlassen den Austritt vereinzelter Büschelstrahlen.

Fragen wir uns nun, aus welchem Grunde im Vakuum eine Entladung nach der Wandung des Gefässes stattfindet, so kann darauf wohl folgende Antwort gegeben werden.

Erfolgt Durchbrechung der die Kathode einhüllenden Luftschicht, d. h. tritt Ausgleich ihrer positiven Elektrizität mit der negativen der Kathode ein, so wird gleichzeitig die negative Spannung der Kathode auf die Grenze der von der Entladung durchsetzten Luftschicht übertragen und die Entladung muss sich weiter fortsetzen in Bahnen, welche zur Oberfläche der Kathode senkrecht stehen, da nur diejenigen Kraftlinien in Betracht kommen, welche durch die mit der Entladung fortschreitende Elektrizitätsmenge erzeugt werden, weil sich zur gleichen Zeit auf der Anode keine Ladung befindet. (Vgl. Fig. 126, S. 171.)

Dass thatsächlich die Glimmlichtstrahlen zugleich Kraftlinien (wenn auch nur momentan) sind, geht daraus hervor, dass die zerstäubte Kathodenmaterie sich an der Glaswandung da absetzt, wo die Glimmlichtstrahlen auftreffen, also z. B. bei Ablenkung der Glimmlichtstrahlen durch den Magneten nicht gleichmässig um die Anode herum, sondern da, wo die magnetischen Kurven auftreffen, welche in diesem Falle die Bahn der Glimmlichtstrahlen bezeichnen.[1])

Natürlich setzt diese Vorstellungsweise aber voraus, dass die Entladungen nicht stetig, sondern pulsirend sind.

Dass thatsächlich die Entladungen in hochevakuirten Röhren, in welchen sich kräftige Kathodenstrahlen ausbilden, intermittirende sind, kann man auf verschiedene Weise, z. B. durch ein in die Leitung eingeschaltetes Telephon oder durch Anschluss eines Kondensators an die Elektroden erkennen.

Puluj[2]) schreibt: „Ist die Elektrode an einem elastischen Draht befestigt, so zittert sie heftig unter den Entladungen, und das flackernde Phosphoreszenzlicht, begleitet von einem zirpenden Geräusch, bietet ein herrliches Schauspiel.“

Th. Meyer[3]) schreibt: „Ich beobachtete das Tönen zuerst in einer mit Phosphordampf gefüllten Röhre, deren Ton mitunter so grell war, dass ich ihn für denjenigen der Signalpfeife an der Lokomotive hielt, mit dessen Höhe er zufällig übereinstimmte. Um jede Täuschung durch die von der Hammerbewegung (des Induktionsapparates) bewerkstelligte Tonerregung zu beseitigen, leitete ich die Induktionsströme mittelst längerer Drähte durch zwei Thüren in

---

1) Vgl. Plücker, Pogg. Ann. **113**, 251, 1861.

2) Puluj, Strahlende Elektrodenmaterie, Wien 1883, S. 16.

3) Th. Meyer, Beobacht. über das geschichtete elektr. Licht, Berlin 1858, S. 20.

ein ferner liegendes Zimmer zu den frei aufgehängten Röhren. . . . . Manchmal sogar hört man nach Art eines Glockenspiels gleichzeitig mehrere harmonisch zusammenstimmende Töne."

Cross[1]) beobachtete starke Töne in einer Crookes'schen Röhre mit einem Platinblech in der Mitte, wenn die Hohlelektrode Kathode war. War sie Anode, so entstand nur ein schwaches Geräusch. Auch bei anderen Röhren wurden mehr oder minder deutlich Töne gehört.

Auch bei eigenen Versuchen hörte ich oft bei Anwendung einer durchaus konstanten Elektrizitätsquelle (Akkumulatorenbatterie) einen deutlichen singenden oder pfeifenden, bei Anwesenheit loser Theile auch klirrenden Ton, sobald kräftige Kathodenstrahlen in der Vakuumröhre auftraten. Der Ton verschwand, sobald das von einem Punkte der Kathode ausgehende, den dunkeln Kathodenraum durchdringende Bündel Kathodenstrahlen (z. B. in Folge Druckänderung des Gases) unsichtbar wurde.

Es erscheint hiernach auch verständlich, weshalb das Phosphoreszenzlicht nur in hoch evakuirten engen Gefässen auftritt, da nur diese dem Durchgang des Stromes den erforderlichen Widerstand entgegensetzen, und weshalb der Druck, bei welchem sich die Kathodenstrahlen am besten ausbilden, von den Dimensionen des Entladungsgefässes und der Beschaffenheit der Elektroden abhängig ist.

Puluj[2]) berichtet: „Bei $p = 0{,}09$ mm beginnt die Glasröhre zu phosphoresziren, bei $p = 0{,}06$ mm ist die Phosphoreszenz lebhaft, bei $p = 0{,}2$ mm und einem Induktionsstrome von 2 cm Funkenlänge nimmt dieselbe ab, bei $p = 0{,}01$ mm ist sie sehr schwach und nur am Ende der Röhre sichtbar. Bei einem geschätzten Drucke von 0,005 mm sieht man nur in einem vollkommen dunkeln Zimmer von Zeit zu Zeit ein schwaches Blitzen durch die Röhre; wenn aber bei diesem Grade der Verdünnung die drahtförmige Elektrode (Fig. 204) zum negativen Pol gemacht wird, so erscheint die Phosphoreszenz wieder längs der ganzen Röhre."

Nach J. J. Thomson[3]) soll der günstigste Druck in elektrodenlosen Röhren $^1/_{250}$ mm Hg betragen, während er nach Peace in Röhren mit Elektroden 250 mm betragen kann.[4]) Den letzteren Versuchen zufolge ist der günstigste Druck von der Elektrodendistanz abhängig und nimmt mit zunehmender Distanz ab.

Die Stelle, von welcher bei ausgedehnteren Elektroden die Kathodenstrahlen-Entladung ihren Ausgang nimmt, hängt nach Puluj von der Lage der Anode ab.

Puluj[5]) schreibt: „Bei hohen Graden der Verdünnung ist die Ausstrahlung der Elektrodenmaterie indessen, wie ich schon öfter beobachtet habe,

---

1) Cross, Beibl. 5, 546, 1881.
2) Puluj, Strahlende Elektrodenmaterie, Wien 1883, S. 12.
3) J. J. Thomson, Proc. Cambridge Phil. Soc. 7, 330, 1892.
4) Peace, Proc. Roy. Soc. London 52, 99, 1892.
5) Puluj, Strahlende Elektrodenmaterie, Wien 1883, S. 22.

auf der der Anode zugewendeten Seite der negativen Plattenelektrode stärker als auf der abgewandten. Ausserdem sucht die Ausstrahlung eine Kathodenstelle, welche der Anode am nächsten liegt.

In einer Kugelröhre von der in Fig. 220 dargestellten Form, in welcher eine Elektrode *c* ungefähr 15 cm lang war, wurde bei einer bestimmten Verdünnung die Phosphoreszenz der Glasröhre längs der ganzen Strecke der Elektrode *c* gesehen, und zwar unabhängig von der Lage der positiven Elektroden *a* und *b*. Bei grösserer Verdünnung zog sich die Phosphoreszenz in die Kugeln *B* und *C* und zuletzt in *B* allein zurück, wenn der positive Pol bei *b* war. Wurde *a* zum positiven Pol gemacht, so verschwand die Phosphoreszenz in *B* und die der Anode *a* zunächst gelegene Stelle *d* der Verbindungsröhre zeigte einen sehr hellen Phosphoreszenzfleck."

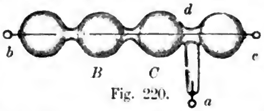


Fig. 220.

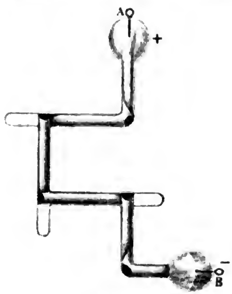


Fig. 221.

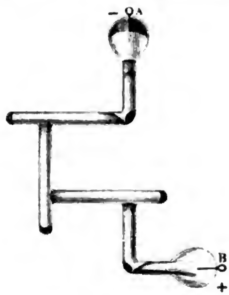


Fig. 222.

Scheinbar kann auch das positive Licht Phosphoreszenz erzeugen, wie früher Goldstein (1880) mittelst der in den Figuren 221 und 222 dargestellten gebrochenen Entladungsröhren nachgewiesen zu haben glaubte. Je nach der Art der Elektrisirung der Elektroden bleiben die Fortsätze lichtlos oder nicht, wie die Figuren andeuten. Die schwarzen Flecke stellen das Phosphoreszenzlicht dar.

Nimmt man indess an, dass die Phosphoreszenz bedingt werde durch abwechselnde positive und negative Ladung der Glaswand, so ist klar, dass die Glaswand alternirend als Anode und Kathode wirkt und in letzterem Falle da, wo sie von den Kathodenstrahlen getroffen wurde, Kathodenstrahlen aussenden muss, die wie in anderen Fällen senkrecht von ihr ausgehen.

Trifft ein Bündel von Kathodenstrahlen auf eine ebene Wand, so wird es nach E. Wiedemann (1880) und Goldstein (1881)[1], gleichgültig aus

1) Goldstein, Wied. Ann. **15**, 246, 1882.

welchem Stoffe dieselbe besteht, sogar wenn sie zugleich Anode ist, diffus reflektirt, so dass die der getroffenen Stelle gegenüberliegende Wand am meisten phosphoreszirt.

Auch diese scheinbare Reflexion von Kathodenstrahlen[1]) dürfte sich in derselben Weise erklären, wie die scheinbare Phosphoreszenzerregung durch positives Licht.

Selbst in elektrodenlosen Röhren lässt sich Phosphoreszenz unter dem Einfluss von Kathodenstrahlen beobachten.

Das grüne Fluoreszenzlicht hat immer diejenige Lage, die dem Rückschlag entspricht. An der Ausgangsstelle der Kathodenstrahlen, welchen dieses Fluoreszenzlicht entspricht, ist häufig das gelbe Natriumlicht zu sehen, andeutend, dass auch hier, wie sonst, längs der Oberfläche der Kathode eine starke Erhitzung stattfindet.

Berührt man eine mit dem Hochfrequenztransformator von Elster und Geitel verbundene evakuirte Glaskugel an mehreren Stellen, so geht von jeder dieser Stellen ein Bündel Kathodenstrahlen senkrecht zur Wandung aus. Diese Bündel schneiden sich[2]) im Kugelmittelpunkt ohne sich zu stören.

Wird die eine Hälfte der Glaskugel innen versilbert[3]), so durchdringen auftreffende Kathodenstrahlen die Silberschicht, man sieht also trotz des Silberbelags auf der Aussenseite der Glaswand einen grünen Phosphoreszenzfleck, wenn man die gegenüberliegende Wand mit dem Finger berührt und beim Verschieben des Fingers wandert auch dieser Phosphoreszenzfleck.

Werden die Kathodenstrahlen durch einen Schirm mehr oder minder abgeschnitten, so bleibt dabei nach E. Wiedemann (1880) und Goldstein (1881) nichtsdestoweniger die Stromintensität die gleiche, da es für die Menge der zur Entladung kommenden Elektrizität gleichgültig ist, ob sie schliesslich an der Elektrodenwand oder schon zuvor an einem Hinderniss abgegeben wurde. Die Lage und Entfernung der Anode ist aus den schon angegebenen Gründen gleichgültig.

Man kann auch die Frage aufwerfen, was geschehen wird, wenn man die Kathodenstrahlen nicht mit einem festen, sondern einem gasförmigen Hinderniss auffängt. Diese Frage hat Hertz zu beantworten gesucht.

Hertz (1883) isolirte ein Bündel Kathodenstrahlen in der Weise, dass er die Kathode innerhalb eines als Anode dienenden Metallgefässes anbrachte,

---

1) Séguy, C. R. **122**, 134, 1896.

2) Da die von einer Hohlspiegelkathode ausgehenden Strahlen sich nicht schneiden, kann man wohl hieraus schliessen, dass die Durchschneidung der sekundären Kathodenstrahlen nur eine scheinbare ist, die sich schneidenden Bündel in Wirklichkeit nicht gleichzeitig auftreten.

3) Solche von Elster und Geitel konstruirten Apparate sind von Müller-Unkel in Braunschweig zu beziehen. Dieselbe Firma liefert Röhren mit in verschiedenen Farben phosphoreszirenden Figuren (z. B. einem edelsteinbesetztem Kreuz). Je nach der Stelle, an welcher man die Röhre berührt, wird diese oder jene Stelle der Figuren erleuchtet.

dessen Oeffnung durch ein sehr feinmaschiges Drahtnetz verschlossen war. Das durch die Maschen des Drahtnetzes austretende Bündel Kathodenstrahlen pflanzte sich axial in einem Glasgefässe (Rohr) fort und erregte auf der entgegenstehenden Wand Phosphoreszenz.

„Es befand sich nun in dem Rohr an dem phosphoreszirenden Ende ein Quecksilbertropfen. Wurde durch das Erhitzen des Rohres an dieser Stelle das Quecksilber verdampft und dadurch ein Gas von grösserer Dichte daselbst erzeugt, so füllte sich das Ende des Rohres mit rosaweissem Licht, welches das Quecksilberspektrum zeigte. Die grüne Phosphoreszenz des Glases erblasste dabei und hörte ganz auf, wenn die durchstrahlte Schicht von Quecksilberdampf eine gewisse Dicke erreichte. Wurde durch den Magnet den Kathodenstrahlen ein Weg gewiesen, bei welchem sie nicht den Dampf zu durchsetzen hatten, so hörte der letztere auf zu leuchten und es erschien dafür die Stelle der seitlichen Glaswand, auf welche nun die Strahlen fielen, in grünem Phosphoreszenzlicht."

Was die Erklärung anbelangt, so ist dieselbe wohl einfach die, dass im Quecksilberdampf die Entladungsbedingungen andere sind als in dem nichtmetallischen Gase. Vermuthlich verhält sich die erhitzte, somit leitende Stelle der Glaswand als Elektrode, welche den Strom zur Erde ableitet, so dass der benachbarte Quecksilberdampf leuchtend werden muss.

50. Der magnetische Wind.

Bald nach Entdeckung der Einwirkung eines Magneten auf einen stromdurchflossenen Leiter konstatirte Davy[1]), dass diese Wirkung auch bei dem elektrischen Flammenbogen zu beobachten ist, dass der Lichtbogen ganz in derselben Weise von einem Magneten angezogen oder abgestossen wird, wie ein biegsamer Stromleiter.

Sturgeon und später Walker[2]) beobachteten auch die der Rotation eines festen Leiters entsprechende Rotation des Lichtbogens um einen Magnetpol.

Casselmann[3]) zeigte, dass sogar schon die Einwirkung des Erdmagnetismus eine schwache Deformation des Lichtbogens bewirkt, welche bei horizontalem Bogen darin beruht, dass der Scheitel je nach der Stromrichtung bald mehr nach rechts, bald mehr nach links liegt.[4])

A. de la Rive[5]), welcher umgekehrt sehr starke magnetische Kräfte einwirken liess, fand, dass durch solche der Lichtbogen sogar zerrissen werden kann.

1) Davy, Phil. Trans. **2**, 427, 1821, Gilb. Ann. **71**, 241.
2) Walker, Pogg. Ann. **54**, 514, 1841. Vgl. auch Daniell, Pogg. Ann. **60**, 386.
3) Casselmann, Pogg. Ann. **63**, 588, 1844.
4) Vgl. dagegen S. 251.
5) A. de la Rive, Pogg. Ann. **76**, 280, 1847.

Quet[1]) vermochte eine Art Spitzflamme, wie mittelst eines Löthrohrs, durch die magnetische Ablenkung des Lichtbogens zu erzeugen, aus welcher, wie aus einer gewöhnlichen Flamme Kohletheilchen in der Richtung der Spitzflamme heraus sprühten.[2])

Nach Plücker[3]) „nimmt der Davy'sche Lichtbogen die Form einer magnetischen Kurve an, wenn die Endpunkte der beiden Elektroden gegen den Magneten eine solche Lage haben, dass sie zwei Punkte derselben magnetischen Kurve sind." Werden die Elektroden in andere Lage gebracht, so kann der Bogen nicht mehr bestehen, er muss zerreissen.[4])

Andrews (1891) befestigte zwei koaxiale kreisförmige Kohlenplatten über dem Pole eines geraden röhrenförmigen Elektromagneten und stellte zwischen denselben einen Lichtbogen her. Derselbe rotirte um die Kohlenplatten, sobald der Magnet erregt wurde.[5])

Ich habe diesen Versuch wiederholt bei einem Lichtbogen von etwa 2000 Volt Spannung und 3 Ampère Stärke zwischen einem Ring aus Kohle und einer in dessen Mitte befindlichen Kohlenspitze, welche derart in ein starkes magnetisches Feld gebracht wurden, dass die Kraftlinien die Ringebene senkrecht durchsetzten. Der Lichtbogen rotirte mit solcher Schnelligkeit, dass die ganze Oeffnung des Ringes von Licht erfüllt schien und nur im Drehspiegel die Rotation verfolgt werden konnte. Von der Kohlenspitze aussprühende Funken bewegten sich in spiralförmigen Bahnen, woraus zu schliessen war, dass die ganze Luftmasse in rotirende Bewegung versetzt wurde.

Ersetzte man das konstante magnetische Feld durch ein Wechselstromfeld von 100 Polwechseln pro Sekunde, so zeigte sich im Drehspiegel, dass in jeder hundertstel Sekunde ein Wechsel der Rotationsrichtung des Lichtbogens eintrat, so dass also im ersten Hundertstel etwa 30 Rotationen im einen Sinn, im nächsten ebensoviele im entgegengesetzten Sinn, dann wieder 30 im ersten Sinn u. s. w. erfolgten.

Nach S. P. Thompson (1896) kann man beim Wechselstromlichtbogen mittelst des rotirenden Spiegels erkennen, dass durch den Einfluss des Erdmagnetismus die Bilder abwechselnd nach rechts und links abgelenkt erscheinen.[6])

Die ersten Beobachtungen über die Einwirkung des magnetischen Feldes auf elektrische Entladungen im Vakuum wurden von A. de la Rive (1849) und Plücker (1858) gemacht.[7])

---

1) Quet, C. R. **34**, 805, 1852.

2) Als „magnetisches Gebläse" findet diese Vorrichtung bekanntlich zu technischen Zwecken (Löthen, Schmelzen u. s. w.) Anwendung.

3) Plücker, Pogg. Ann. **104**, 624, 1858.

4) Vgl. auch Houston, Dingl. J. **204**, 457, 1872. — Von dieser Erscheinung wird beim Tesla-Transformator zur raschen Stromunterbrechung Gebrauch gemacht.

5) Vgl. auch Stanley, Beibl. **15**, 447, 1891.

6) S. P. Thompson, Zeitschr. f. Elektrochemie, II, 591, 1896.

7) Plücker, Pogg. Ann. **104**, 131, 1858.

Gassiot[1]) vermochte mittelst des Magneten Wechselströme in Entladungsröhren zu trennen.

De la Rive hat den in Fig. 223 abgebildeten Apparat konstruirt, der für die Wirkung eines Magneten besonders belehrend ist. In ein eiförmiges nicht allzu sehr evakuirtes Glasgefäss sind die beiden Zuleitungsdrähte von Platin *a* und *d* eingeschmolzen, von welchen letzterer innerhalb zu einem Ringe umgebogen ist, welcher eine Glasröhre *H* unterhalb bei *m* umfasst. Diese Glasröhre ist gleichsam in das eiförmige Gefäss hineingestülpt und also von unten her offen. In ihr steckt ein Stück weichen Eisens, welches durch den hölzernen Fuss hindurch reicht. Man setzt diesen Apparat auf den einen Pol eines kräftigen Elektromagneten. Der Lichtstrom umkreist dann den Magnet in Spirallinien, deren Drehung umgekehrt wird, wenn man die Pole des Elektromagneten wechselt.



Fig. 223.

Die ersten Beobachtungen über den Einfluss eines Magneten auf die Entladungen in Geissler'schen Röhren machte wohl Th. Meyer.[2])

Derselbe schreibt: „Das Licht des negativen Pols wurde herabgezogen (zum Magneten) und konzentrirt zu einer anders nüancirten Lichtzunge mit sehr feinen schwarzen Ringen durchzogen, während das Licht des positiven Poles zwar auch als dunkelrother Lichtnebel nach den Polen hinging, aber alsbald fortwährend in wellenförmigen Flämmchen von mehr violettem Teint aufloderte, um sich gewissermaassen von der durch die bestimmte Stromrichtung im Ruhmkorff-Apparat und Magneten nach den Polen hingedrängten Hauptlichtmasse los zu reissen oder auch, bei anderer Stromrichtung, als ein matt gelbes Licht von oben nach unten zu den Polen hinzufluthen."

Bei einer Röhre mit einem Messingdrehspan als Kathode beobachtete er, dass sich die von den Spiralwindungen ausgehenden Lichtcylinder in eine Ebene ausbreiteten.

Nach Plücker[3]) besteht die ebene oder krumme Glimmlichtfläche, welche sich an der Kathode unter Einfluss des Magneten bildet, aus „Lichtlinien, welche von den einzelnen Punkten der negativen Elektrode ausgehen und mit magnetischen Kurven zusammenfallen."

Plücker[4]) schreibt: „Das Licht, welches von jedem Punkte der negativen Elektrode ausgeht, verfolgt den ihm von der durch diesen Punkt ge-

1) Gassiot, Proc. Roy. Soc., March. 4, 1858.
2) Th. Meyer, Beobacht. über d. geschichtete elektr. Licht, Berlin 1858, S. 23.
3) Plücker, Pogg. Ann. **103**, 100, 1858.
4) Ebenda **107**, 104, 1859.

hemmten magnetischen Kurve vorgeschriebenen Weg mit mathematischer Genauigkeit. Die erleuchteten magnetischen Kurven[1]) sind die Strahlen dieses Lichtes und wenn ein dunkler (?) Gegenstand von diesen krummlinigen Strahlen getroffen wird, so erhalten wir einen scharf begrenzten, mathematisch bestimmten Schatten. Selbst die positive Elektrode wirft einen solchen Schatten, wenn sie die magnetische Lichtfläche durchsetzt. Ist diese Lichtfläche insbesondere eine gewölbeartige, so tritt auf derselben ein dunkler Streifen von der Dicke der Elektrode auf, der sich, scharf begrenzt jenseits dieser Elektrode bis zur Glaswandung hinzieht.

Das Glimmlicht verhält sich hiernach bezüglich der Form, welche es annimmt, so, wie wenn es aus Feilspänen oder spiralförmig sich bewegenden elektrischen Theilchen bestände.[2])

Wurde eine elektrodenlose evakuirte Kugel in Berührung mit einem Pole des Induktionsapparates gebracht, so entstand ein Lichtstrom von der Form einer magnetischen Kurve. Wurden beide Pole angelegt, so entstanden zwei Lichtströme jeder von der Form der durch die Elektrode gehenden Kraftlinie, anscheinend ganz unabhängig von einander. Berührten aber die Elektroden die Kugel in zwei Punkten derselben Kraftlinie, so vereinigten sich die beiden Lichtbogen in einen einzigen, der die Intensität der beiden früheren in sich vereinigte.

Durch eine zufällige Beobachtung über das Aufleuchten einer elektrodenlosen Röhre in der Nähe einer Elektrode kam Plücker später zu der Vorstellung, die Glimmlichtstrahlen seien rekurrirende Ströme.

Plücker[3]) äussert sich: „Es ist mir sehr wahrscheinlich, dass auch die magnetischen Lichtflächen durch in sich zurückkehrende Ströme gebildet werden; denn die Beobachtungen werden in unzweideutigster Weise darthun, dass die Bildung der fraglichen Flächen zu dem eigentlichen elektrischen Entladungsstrom nicht gehört.

Die Gesetze, nach welchen der Magnet auf ein Stromelement, das an einen metallischen Leiter gebunden ist, wirkt, finden unmittelbare Anwendung auf das freie Element des Entladungsstromes und bestimmen so die Bahnen dieses Stromes."

Indess auch bezüglich des Verhaltens des positiven Lichtes ergaben sich Eigenthümlichkeiten, als Plücker die zuerst von Ruhmkorff und du Moncel beobachtete magnetische Ablenkung der Hülle des Induktionsfunkens in freier Luft untersuchte, welche wesentlich aus positivem Licht bestand. Er gelangte zu dem Resultat, „dass die[4]) magnetische Wirkung auf die elektrische Ent-

1) Dieser Ausdruck erinnert an Faradays Abhandlung über „Erleuchtung der magnetischen Kraftlinien", Experimentaluntersuchungen Bd. III, S. 1, neunzehnte Reihe. Faraday versteht indess unter diesem Titel die Sichtbarmachung der Kraftlinien durch elektromagnetische Drehung der Polarisationsebene.

2) Plücker, Pogg. Ann. **104**, 113, 1858.

3) Ebenda **107**, 88, 1859.

4) Ebenda **113**, 262, 1861.

ladung ihrer Art nach eine ganz andere ist bei möglichster Verdünnung und bei grösserer Dichtigkeit des umgebenden Mediums, und dies kommt darauf hinaus, dass die Entladung selbst in den beiden Fällen von anderer Art ist."

Diese Verzerrung der Induktionsfunken zu einer Kreisscheibe im magnetischen Felde[1]) ist dargestellt in Fig. 224. *A B* sind die Elektroden. *S'* ist die halbe Kreisscheibe, welche sich bildet, wenn nur Strom in einer Richtung übergeht. Gehen gleichstarke Ströme von wechselnder Richtung über, wie sie ein Wechselstromtransformator liefert, so gesellt sich dazu eine ebenso gestaltete zweite abwärts gerichtete Kreishälfte, welche anscheinend mit der ersten eine zusammenhängende leuchtende Scheibe bildet. In Wirklichkeit handelt es sich nicht um eine zusammenhängende Lichtmasse, wie man leicht im Drehspiegel erkennen kann, sondern um rasch auf einander folgende Einzelentladungen, von welchen jede folgende stärker ausgebogen ist, wie die vorhergehende, da sie der abgelenkten Luft nachgeht, wenigstens bis zu einer gewissen Grenze. Dann springt die Entladung in Folge des allzusehr vergrösserten Widerstandes wieder in die erste Lage zurück.

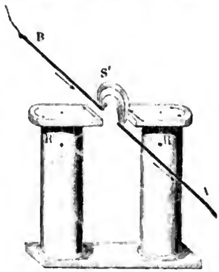


Fig. 224.

Hittorf gelang es zuerst nachzuweisen, dass die von Plücker vermutheten Unterschiede zwischen positivem und negativem Lichte nicht vorhanden sind und dass insbesondere das negative ebenso gut den elektrodynamischen Gesetzen folgt wie das positive.[2])

Hittorf schreibt: „Das Laplace'sche Gesetz, welches alle Ströme beherrscht, ist für das positive, wie für das negative Licht in gleicher Weise gültig. So lange der Magnet schwach bleibt, erscheinen auch die Bewegungen, welche beide in der cylindrischen Röhre ausführen, fast gleich; sie werden aber um so verschiedener, je stärker der Magnetismus auftritt.

Der Glimmstrahl verhält sich nämlich wie ein unendlich dünner, geradliniger, gewichtloser, steifer Stromfaden, der bloss an dem Ende, welches den negativen Querschnitt berührt, fest bleibt. Mit seinem anderen Ende und der ganzen biegsamen Länge folgt er den Kräften, welche zwischen seinen Theilchen und dem Magnete bestehen, ohne Rücksicht darauf, welche Lage er in Bezug auf die Anode gewinnt, ob er sich von derselben entfernt oder ihr nähert.

Das positive Licht unterhält die Verbindung zwischen den Glimmstrahlen in der jedesmaligen Lage, die sie einnehmen und der Anode und ist für diese

1) Siehe auch Sir David Salomons, Phil. Mag. (5) **42**, 245, 1896.

2) Hittorf, Pogg. Ann. **136**, 213, 1869. Stokes, Proc. Roy. Soc. 1876; Phil. Mag. (5) **2**, 389, 1876. Siehe im Uebrigen die Literatur in G. Wiedemann, Elektrizität, **4**, (1) p. 552 u. ff.; ferner Precht, Untersuchungen über Kathodenstrahlen, Heidelberg 1897.

Rolle durch den geringen Widerstand, den es in den stark verdünnten Medien besitzt, geeignet. Es erscheint daher als ein auf der ganzen Länge biegsamer Stromleiter, dessen Enden beide fest sind, und kann nur so weit den magnetischen Kräften folgen, als es diese Bedingung gestattet.

Bildet die Achse des Glimmlichtbündels mit der magnetischen Kurve, welche durch den negativen Querschnitt geht, einen rechten Winkel, so gehen die Glimmstrahlen, welche erstere zur Richtung haben, bei hinreichend starken Magneten in eine ebene kreisförmige Windung über, welche auf der magnetischen Kurve senkrecht steht. Zu beiden Seiten derselben legen sich die divergirenden Strahlen als Spiralen an.

Reicht in einer cylindrischen Röhre die drahtförmige Anode bis in die Nähe der punktförmigen Kathode, so kann man erstere mit dem Bogen, welchen das negative Lichtbündel in der axialen Lage über dem Magneten bildet, zusammentreffen lassen. Der Bogen erleidet dadurch keine Aenderung; er umhüllt den positiven Draht, der sich an dieser Stelle mit positivem Lichte umgiebt und dehnt sich jenseits in derselben Weise aus, wie wenn keine Berührung stattgefunden hat.[1])

Durch den Magnet kann man sogar das Bündel Glimmstrahlen, welches dem negativen Querschnitt entströmt, um den positiven Draht, ohne Störung für dasselbe, herum wickeln.

Obschon für jedes Stromtheilchen diejenige magnetische Kurve, welche durch seinen Ort geht, maassgebend ist, so wird doch seine Richtung von der des benachbarten Theilchens, welches dem negativen Querschnitt näher liegt, wesentlich bestimmt. Dadurch kommt es, dass mit zunehmendem Magnetismus die Achse der Spirale sich immer mehr derselben magnetischen Kurve, derjenigen nämlich, welche durch die punktförmige Kathode geht, nähert.

Während das negative Licht in der axialen Richtung mehrere Spiralwindungen bildet, vermag das positive in dieser Lage höchstens eine langgestreckte, die zur Höhe den Abstand der Anode von den Windungen des Glimmlichts besitzt, zu erzeugen.[2])

Bildet die magnetische Kurve, welche durch den negativen Querschnitt geht, mit der Achse des Lichtbündels einen vom Rechten abweichenden Winkel, so gehen die mit letzterer parallelen Strahlen in eine Kurve doppelter Krümmung, eine Spirale, über, deren Windungen um so enger werden, je näher sie am Pole sich befinden. Sie liegen daher wieder auf einem Kegelmantel, dessen Spitze zum Pole gewendet ist. Man unterscheidet sehr deutlich zwei bis drei vollständige Windungen.

---

1) Hittorf schliesst hieraus, dass das negative Licht die Fortpflanzung der Elektrizität in die Anode nicht zu bewirken vermag. Dazu soll nur das positive Licht geeignet sein.

2) Hieraus kann man wohl auf verschiedene Stromintensität im positiven und negativen Licht, also auch intermittirende Natur der Entladung schliessen. O. L.

Da wo dieselben der Glaswand begegnen, erregen sie lebhafte Fluoreszenz, werden aber nicht begrenzt, sondern krümmen sich auf derselben fort. Ein Theil der Strahlen windet sich um die magnetische Kurve dieser Stelle rückwärts und findet erst in der gegenüber stehenden Wand für die weitere Ausdehnung ein Hinderniss." [1])

Nach Hittorf haben sich namentlich Goldstein und Crookes mit näherem Studium dieser Erscheinungen befasst. [2])

Crookes hat die in den Figg. 225 und 226 dargestellten Demonstrationsapparate konstruirt, bei welchen die Bahn der Kathodenstrahlen dadurch sicht-

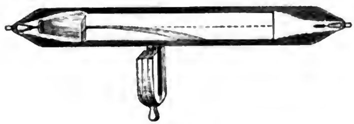


Fig. 225.

bar gemacht wird, dass dieselben an einen im Vakuumrohr befindlichen phosphoreszirenden Schirm anstreifen. Die erste Röhre dient zur Demonstration der Ablenkung überhaupt, die zweite zum Nachweis, dass sich bei verändertem

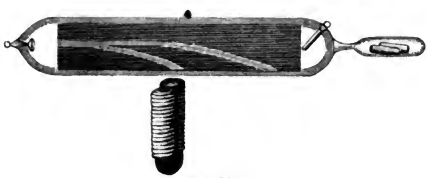


Fig. 226.

Druck des Gases (hervorgerufen durch Erhitzen des angesetzten Kaliröhrchens) die Bahn der abgelenkten Strahlen ändert.

Goldstein (1876 und 1886) schreibt:

„Ich habe gefunden, dass dies positive Licht sich unter dem Einflusse des Magneten ganz ebenso verhält wie das negative; es ist sogar eine geringere magnetische Kraft erforderlich, um das positive Licht in die magnetischen Kurven überzuführen.

Die wesentliche Bedingung für die Beobachtung ist, den Entladungsgefässen eine Gestalt und Lage in Bezug auf den Magneten zu geben, bei welcher die die innere Röhrenwand berührenden magnetischen Kraftlinien stärker gekrümmt sind, als die Wandung des Gefässes in der Durchschnitts-

1) Vermuthlich bezieht sich die letzte Bemerkung auf sekundäre Kathodenstrahlen, welche durch Berührung der Entladungsröhre mit dem Magnetpol entstehen. O. L.

2) Goldstein, Wied. Ann. **11**, 844, 1880.

linie mit der Ebene der betreffenden magnetischen Kurve, oder wobei die Kurven des magnetisirten Lichts überhaupt in den freien Raum des Gefässes fallen können.

Nur die unmittelbare Umgebung der Anode scheint unter dem Einfluss des Magneten noch durch eine eigenthümliche Erscheinung ausgezeichnet zu sein. Während der Magnet an der Kathode zur Bildung der von Plücker entdeckten axial gelagerten Fläche Anlass giebt, ruft er in sehr stark verdünntem Gase an der äquatorial gestellten Anode eine äquatorial gerichtete Fläche hervor. Für eine Elektrode der gewöhnlichen Form ist sie von ovalem Umrisse und besteht aus drei Theilen: einem nahe elliptischen, absolut lichtlosen, die Elektrode unmittelbar umgebenden Raum und aus zwei nach aussen diesen umschliessenden, in einander gelagerten, schraubenförmig zierlich gewundenen Lichtkurven.

Bei axialer Lage der Anode zeigt dieselbe sich von einem Lichtcylinder umhüllt, den ebenfalls ein dunkler Raum von der metallischen Oberfläche trennt.

Die Form, welche das elektrische Licht der gesammten Entladung unter dem Einflusse des Magneten annimmt, erscheint abhängig von der Menge der auf einmal übergehenden Elektrizität. . . .

An den Kanalstrahlen konnte ich selbst mittelst des grössten (von sechs Bunsen gespeisten) Elektromagneten des hiesigen physikalischen Instituts nicht die geringste wahrnehmbare Richtungsänderung oder Deformation hervorbringen.“

Die Kurve, zu welcher die positive Lichtsäule im magnetischen Felde verbogen wird, ist hiernach aufzufassen als eine „Aufeinanderfolge kurzer magnetischer Kurven“.

Bezüglich der magnetischen Kurve, in welche sich ein Büschel Kathodenlicht zusammenrollt, bemerkt Goldstein[1]):

„Das Büschel besteht aus einem Vollkegel divergenter Strahlen. Die nahe um die Achse gelagerten Strahlen des Kegels heben sich durch grössere Helligkeit stets von den weiter nach aussen gelegenen deutlich ab; liegt also die Kegelachse genau äquatorial, so kann an dem hellen Mittelbüschel die Bewegung der Strahlen gegen den Magnet bei äquatorialer Einwirkung erkannt werden.

Nach Hittorf geht nun dieses Bündel mit wachsender Stärke des Magnetismus aus einem geraden Lichtfaden in eine zuletzt äusserst enge, ebene Spirale über, deren Ebene mit der Aequatorialebene selbst zusammenfällt. Bei grosser Stärke des Magnets liegt der Durchmesser der Spirale schliesslich unterhalb 1 mm, so dass sie nahezu als ein Lichtpunkt erscheint.

Liegt die Kegelachse aber schräg gegen die Aequatorialebene, so zeigen die Deformationen des hellen Mittelbüschels die Einwirkung des Magnets auf diejenigen Strahlen, welche grössere Winkel mit der Aequatorialebene bilden.

---

1) Goldstein, Wied. Ann. **11**, 854, 1880. Vgl. ferner das Kap. „Elektr. Strahlung“.

Ein solches schräges Bündel rollt sich magnetisirt zu einer Schraubenspindel auf, deren Windungen um so höher sind, je grösser der Winkel der Strahlen gegen die Aequatorialebene, und um so enger, je näher sie dem Magnetpol liegen.

Mit wachsender Stärke des Magnetismus legen sich die Windungen dieser Schraubenlinien, von denen die vorerwähnt ebene Spirale einen speziellen Fall bildet, immer enger um die magnetische Kurve, welche durch den Ausgangspunkt der Strahlen geht, und gehen für das Auge schliesslich in sie über. Eigentlich ist die magnetische Kurve also nur die geometrische Achse der wahren Form des magnetisirten Lichts........

Wenn die Kathodenstrahlen sich spiralig einrollen, so folgt die erste Schicht des positiven Lichts keineswegs am Ende des negativen Strahls auf seinen Umläufen, sondern die Schicht bleibt ausserhalb der ganzen Spirale an ihrer der Anode zugewandten Seite, ohne mit dem im Innern der Spirale liegenden Strahlenende irgend welche Berührung zu haben. Analog verhält sich jede Schicht gegen die nach der negativen Seite voraufgehende Schicht des positiven Lichts.“ (Vgl. auch S. 298.)

Hertz[1]) findet den Vergleich der Ablenkung der Kathodenstrahlen mit der Ablenkung eines durchströmten elastischen Drahtes völlig unpassend[2]) und, wie mir scheint, mit vollem Recht. Auch wenn man absieht von Elastizität, und nur vollkommene Biegsamkeit annimmt, so muss man doch annehmen, die Entladungsbahn besitze eine Art Kohäsion, was doch nicht möglich ist.

Hierzu kommt (nach Ansicht von Hertz), dass ein Versuch Goldsteins[3]) anscheinend ganz direkt beweist, dass die Entladung nicht im Gase, sondern im Aether stattfindet.

In einer Geissler'schen Röhre, in welcher an einer Stelle durch Erhitzen Natriumdampf entwickelt werden konnte, welcher die positive Lichtsäule gelb färbte, wurde durch Einwirkung eines Magneten die Entladung so abgelenkt, dass sie ausserhalb des von Natriumdampf erfüllten Raumes verlaufen musste. Die Lichtsäule erschien dann wie gewöhnlich in rosarothem Lichte, und Goldstein schliesst hieraus, dass die magnetische Kraft nur den elektrischen Strom, nicht das Gas bewegt habe, somit letzteres nicht der Träger des Stromes sein könne, da bei elektrodynamischer Ablenkung von Strömen in metallischen oder elektrolytischen Leitern das ponderable Substrat der Bewegung mit voller Kraft sich mitbewegt, wie wenn der elektrische Strom unzertrennlich damit verbunden wäre. Leiten wir beispielsweise, wie Fig. 227 andeutet, durch ein zwischen den Magnetpolen A und B befindliches „Barlow'sches Rad“ C den Strom der Batterie D, so sucht sich die Stromfläche f zu vergrössern und das Rad dreht sich, gleichsam als wäre es am Umfange mit molekularen

---

1) Hertz, Wied. Ann. **19**, 806, 1883.

2) Vgl. auch R. Lamprecht, Wied. Ann. **29**, 590, 1886.

3) Goldstein, Wied. Ann. **12**, 262, 1881, und Hertz, Wied. Ann. **19**, 806, 1883.

Zähnen versehen, so, dass bei Verschiebung des am Ende von *r* befindlichen, den Kontakt herstellenden Moleküls an das Ende des punktirten Radius die Stromfläche um das schmale Dreieck *df* zunehmen muss. Die Kraft der Umdrehung ist dabei so gross, als ob der Strom sich absolut nicht in der Platte verschieben könnte, obschon dieselbe eine massive Kupferplatte ist, sondern genöthigt wäre, in radialen Kanälen von der Achse nach den molekularen Zähnen am Rande zu fliessen.

Durch entsprechende Abänderung der Versuchsanordnung lassen sich bekanntlich ebenso wirbelartige Strömungen in elektrolytisch leitenden Flüssigkeiten und Quecksilber erhalten, welche stets so verlaufen, wie wenn die Stromfäden, welche der elektrodynamischen Einwirkung unterliegen, fest mit dem ponderabeln Träger des Stromes verbunden wären.

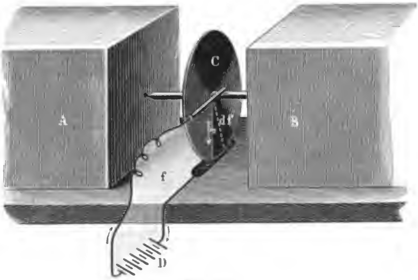


Fig. 227.

Ganz anders sollen sich also nach Goldstein und Hertz die Gase verhalten.

Hertz ist der Meinung, man müsse bezüglich der magnetischen Wirkung auf die Kathodenstrahlen sagen, „der Magnet wirke auf das Medium, die Kathodenstrahlen aber pflanzten sich anders fort in einem magnetisirten als in einem unmagnetisirten Medium.“ [1])

1) Vgl. auch Jaumann, über longitudinales Licht und die Bemerkungen von Poincaré, Beibl. **21**, 55, 1897. Auch F. Braun (Wied. Ann. **60**, 552, 1897), welcher, ähnlich wie Des Coudres (Beibl. **21**, 648, 1897), die magnetische Ablenkung eines dünnen Kathodenstrahlenbündels zur Demonstration und zum Studium des zeitlichen Verlaufes variabler Ströme benutzt, ist der Ansicht, dass dabei die Trägheit bewegter Luft keine Rolle spiele. „Wenigstens ist, bis zum Beweis des Gegentheils, welches aufzuweisen sehr interessant wäre, anzunehmen, dass letztere sich höchstens in Zeiträumen geltend machen können, die sich bemessen aus Lichtgeschwindigkeit und linearen Dimensionen des Rohres.“ .... „Eine Trägheit des Kathodenstrahles ist mir nicht aufgefallen. Jedenfalls folgt er den Schwingungen der Entladung einer einzigen Leydener Flasche.“ Siehe ferner Wiechert, Beibl. **21**, 443, 1897 und das Kapitel „Theorien“.

Boltzmann (1887) findet ebenso wie auch Hertz eine Analogie zwischen der Wirkung des Magnetismus auf Gasentladungen mit dem Hall'schen Phänomen. „Würde man also diese Wirkung mit dem von Hall (1880) entdeckten Phänomen vergleichen, so würde sich die Luft wie Wismuth oder Gold verhalten.“ (Nach H. Bayard (C. R. **122**, 77, 1896) lässt sich das Hall'sche Phänomen auch bei Flüssigkeiten beobachten.)

Diese Ansichten gehen so weit aus einander und sind prinzipiell so von einander verschieden, dass man Stenger, welcher in Winkelmann's Handbuch der Physik (1893) einen zusammenfassenden Bericht über die Erscheinungen giebt, beistimmen muss, wenn er sich dahin ausspricht, das magnetische Verhalten der Gasentladungen sei bis heute noch unaufgeklärt.

Ich habe deshalb, um Klarheit zu erhalten, eine grössere Reihe von Versuchen selbst ausgeführt, um zunächst zu erfahren, ob das Gas wirklich in Ruhe bleibt, wie Goldstein, Hertz und Boltzmann annehmen und nur der Strom abgelenkt wird, oder ob es der magnetischen Kraft folgt, wie eine vom Strome durchflossene Flüssigkeit. Für die letztere Ansicht spricht ein Versuchsergebniss von A. de la Rive und Sarasin[1]), welche fanden, dass bei der Ablenkung der Entladung in einer senkrecht zu den Kraftlinien liegenden Röhre eine merkliche Verdichtung des Gases an der Stelle, wo die Entladung an der Wand angedrückt wird, stattfindet. „Diese Zunahme der Dichte, die auf Kosten der übrigen Gasmasse zugleich mit der Kondensation des leuchtenden Theils eintritt, variirt mit der Natur des Gases ...., sie tritt um so stärker hervor, je besser das Gas leitet. Uebrigens ist die Wirkung beträchtlicher in dem Theil der Entladung, der der negativen Elektrode zunächst liegt, als in der übrigen vom Strom durchflossenen Gassäule.“

Diese Lage der Röhre im Magnetfelde ist augenscheinlich wenig geeignet zur Entscheidung der Frage, da durch die Glaswand die freie Bewegung der Theilchen gehindert wird, so dass die beobachtete Verdichtung entstehen muss. Zweckmässiger schien mir daher die Untersuchung unter solchen Umständen, unter welchen sich wirbelartige Strömungen ausbilden wie bei Einwirkung des Magneten auf stromdurchflossenes Quecksilber oder angesäuertes Wasser bei dem bekannten, dem „Barlow'schen Rade“ entsprechenden Versuche von Bertin.[2])

Ich benutzte deshalb einen Apparat ähnlich demjenigen von de la Rive, in welchem entweder durch einen Elektromagneten, welcher im Innern einer der Elektroden eingeschlossen war, oder durch Drahtspiralen, welche das Entladungsgefäss umgaben, Kraftlinien parallel zur Achse der Elektroden erzeugt werden konnten[3]), in der Absicht, die Strömung des Gases durch darin schwebende leichte Körperchen zur Anschauung zu bringen. Dies liess sich ermöglichen durch Anwendung eiserner Elektroden, welche beim Weissglühen leb-

---

1) A. de la Rive und Sarasin, Pogg. Ann. J. 469, 1874.

2) Frick-Lehmann, Phys. Technik, 6. Aufl. II, 160.

3) Siehe auch O. L., Wied. Ann. **55**, 374, 1895.

haft Funken aussprühen und durch Aufbringen von fein zertheiltem Russ auf die Elektroden, welcher durch die Luftbewegung aufgewirbelt und in Form zahlloser kleiner Fünkchen durch die Hitze des Entladungsraumes zum Leuchten gebracht wurde.

Um die wirksamen elektrodynamischen Kräfte besser übersehen zu können, möge zunächst ein dem Barlow'schen Rad ähnlicher Apparat in Betracht gezogen werden.

Im Innern einer aus zwei Hälften zusammengesetzten Drahtspule (Fig. 228) befinde sich ein an beiden Enden mit Kupferscheiben verschlossener Cylinder aus Kupferblech mit axialen Stromzuleitungen. Wird die Drahtrolle von Strom durchflossen, so erzeugt sie ein magnetisches Feld, dessen Kraftlinien, wie die punktirten Linien der Figur andeuten, der Achse des Cylinders parallel verlaufen, also die beiden Endscheiben senkrecht durchsetzen. Letztere müssen somit in entgegengesetzter Richtung in Rotation kommen, während die den Kraftlinien parallele Seitenwand des Cylinders keiner Kraftwirkung unterliegt.[1])

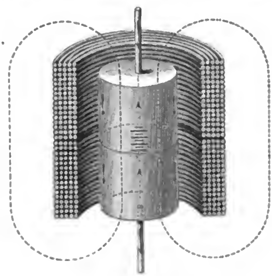


Fig. 228.

Soll die Drehung der Endscheiben wirklich zu Stande kommen, so ist es nothwendig, den Cylinder in der Mitte quer zu durchschneiden. Andernfalls wird er durch die elektrodynamische Kraft gedrillt werden, bis die geweckte Kraft der Torsionselastizität der magnetischen Kraft das Gleichgewicht hält.

Denken wir uns nun den Cylinder ersetzt durch eine verdünnte Gasmasse, durch welche mittelst der beiden axialen Zuleitungen Strom hindurchgeleitet wird, so wird genau dasselbe eintreten müssen, falls entgegen Goldsteins Ansicht der Strom am Gase haftet. Es entstehen in der Nähe der axialen Elektroden Luftwirbel von entgegengesetzter Drehrichtung. In der Mitte, wo die beiden Wirbel aneinander grenzen, ist die Luft in Ruhe.

Konzentrirt sich die Entladung auf einem dünnen Lichtfaden in der Achse der Elektroden, welcher vollständig mit der Kraftlinie daselbst zusammenfällt, so kommt derselbe wohl ebenfalls an seinen Enden in Rotation, eine Aenderung der Gestalt ist indess nicht zu bemerken.

Biegt sich aber der Lichtstreif in der Mitte durch, so dass er sich zu beiden Seiten der Mitte schräg durch das magnetische Feld hindurchzieht, so müssen die beiden Hälften in entgegengesetztem Sinn rotiren, der Lichtstreifen wird also zu einer Spirale gedreht oder, wenn das magnetische Feld stark genug ist, geradezu zerrissen, worauf der Stromdurchgang aufhört.

1) Vergl. O. Lehmann, Elektrizität und Licht, S. 324.

Durch in Form zahlloser Funken aufgewirbelter Eisen- und Russpartikelchen liess sich nun in der That, wie erwartet, die Richtung der Luftströmungen leicht erkennen und man konnte sich überzeugen, dass in dem spiralig verdrehten Lichtfaden wirklich eine heftige Luftbewegung im Sinne der oben erwähnten Luftwirbel stattfindet, dass also die Luft an allen Stellen quer durch die Spirale von der inneren Kante zur äusseren bläst, wie Fig. 229 andeutet. Die Luftbewegung setzt sich vermöge der Trägheit auch über die Entladungsbahn hinaus fort und wird durch das cylindrische Gefäss genöthigt, wieder die oben erwähnten Wirbel zu bilden. Im freien Raum würde die bewegte Luft vermuthlich in der Richtung des zuletzt erhaltenen Antriebs geradlinig weiter strömen.

Sind die Flächen, von welchen die Entladung ausgeht, hinreichend gross und liegen die Ausgangspunkte der Entladung nicht in der Mitte, sondern am

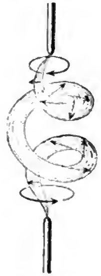


Fig. 229.

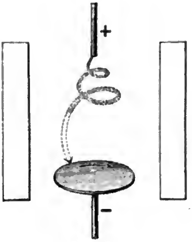


Fig. 230.

Rande dieser Flächen, so veranlasst der „magnetische Wind", wie die durch die magnetische Kraft bewirkte Strömung kurz genannt werden soll,[1]) eine fortwährende Veränderung der Ausgangspunkte. Dieselben rotiren in entgegengesetztem Sinne, da durch den heissen magnetischen Wind, welcher von einem solchen Endpunkte der Entladung ausgeht, die in der Richtung des Windes nächste Stelle der Elektrode sehr stark erhitzt wird, während gleichzeitig durch die zuströmende kalte Luft auf der andern Seite Abkühlung eintritt, so dass nunmehr die Entladung an der neu erhitzten Stelle hervorbrechen muss.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Endpunkte rotiren, ist von zufälligen Umständen, insbesondere Reinheit der Elektrodenoberfläche abhängig. Sie kann ganz unregelmässig sein, auch kann nur der eine oder andere Punkt wandern, wobei die Spirale im einen oder andern Sinne sich zu drehen scheint, auch können beide hellen Punkte sich an Stellen der Elektroden festsetzen, die etwa in Folge leichter Verdampfbarkeit für die Entladung besonders geeignet sind.

1) O. L., Zeitschr. f. phys. Chemie, 18, 101, 1895.

Analoges gilt für den in Fig. 230 dargestellten Fall der Entladung zwischen einer Spitze und einer Scheibe. Die oberflächliche Betrachtung der Spirale erweckt die Auffassung, die Spirale komme entweder dadurch zu Stande, dass die Entladung mit mässiger Geschwindigkeit von den Elektroden ausgehe und nun durch die beiden Luftwirbel im Kreise herumgeführt werde, so dass man aus der Ganghöhe der Spirale und der Drehungsgeschwindigkeit der Wirbel die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Entladung von der Spitze zur Platte berechnen könnte, oder dadurch, dass, wie Hertz[1]) annehmen zu können glaubte, die fortschreitende Entladung sich im magnetischen Medium anders fortpflanzt als im nicht magnetischen, als ob etwa in jenem der Aether in wirbelnder Bewegung wäre. Bei solcher Auffassung wäre es aber ganz unverständlich, weshalb die von beiden Elektroden ausgehenden Spiralenhälften stets in der Mitte zusammentreffen und gewissermaassen eine starre Spirale bilden, welche im einen oder andern Sinn als Ganzes rotiren kann.

Nach dem Dargelegten muss man vielmehr annehmen, dass auch im magnetischen Felde im ersten Moment die Bahn der Entladung ganz dieselbe ist, wie im unmagnetischen, dass aber durch die elektrodynamische Ablenkung der von der Entladung durchsetzten und erhitzten (dissociirten) Luft, mit welcher die Stromfäden der elektrischen Strömung ebenso fest verbunden zu denken sind, wie mit den Kupfermolekülen des Barlow'schen Rades oder den Ionen des wirbelnden Elektrolyten oder des Quecksilbers, die Bahn der Entladung in gleicher Weise und aus gleichem Grunde verschoben wird, wie durch einen ebenso gerichteten gewöhnlichen Luftstrom, durch welchen bekanntlich deshalb die Entladung zur Seite geblasen wird, weil der Luftstrom eine Verschiebung der erhitzten und dissociirten Gasmasse der Entladungsbahn bedingt, und weil die Entladung in dieser erhitzten Gasmasse weit leichter stattfindet als in der an ihre Stelle getretenen kalten Luft. (Vgl. S. 240.)

Mit dieser Auffassung steht auch die Thatsache im Einklang, dass unter Umständen eine Verbreiterung der Strombahn eintritt, da die späteren Partialentladungen stärker abgelenkt erscheinen als die ersten (Dispersion der Kathodenstrahlen), sowie dass sich die Stärke der Ablenkung mit zunehmendem Luftdruck vermindert, was sich darauf zurückführen lässt, dass nicht die ganze Gasmasse, sondern verhältnissmässig wenige Moleküle den Durchgang des Stromes vermitteln.

Die erwähnte Dispersion der Kathodenstrahlen wurde zuerst von E. Wiedemann und Ebert[2]) beobachtet. Die betr. Stelle lautet:

„Durch den Einfluss eines Magneten werden die Ansatzstellen der Kathodenstrahlen an der Kathode verschoben und die Kathodenstrahlenbündel in verschiedene Theile zerlegt (Dispersion der Kathodenstrahlen) . . . . .

---

1) Hertz, Wied. Ann. **19**, 807 (1883).

2) E. Wiedemann u. Ebert, Sitzb. d. phys.-med. Soc. zu Erlangen, 14. Dez. 1891. Vgl. auch Lenard, Beibl. **21**, 779, 1897; ferner Schmidt. Verh. d. Naturforscherversammlung in Braunschweig 1897 und das Capitel „elektrische Strahlung."

Das Kathodenstrahlenbündel selbst erscheint fächerförmig; die der Achse des Rohres zunächst liegenden Theile sind am wenigsten umgebogen, die Ansatzstelle selbst erscheint an den verschiedenen Stellen verschieden gefärbt. In der Mitte ist sie violett gefärbt, daran anschliessend roth, und am äussersten, am stärksten abgelenkten Saume häufen sich die oben besprochenen Fünkchen an. Steigert man die Stärke des Elektromagneten, so nimmt die Verschiebung und die Zerlegung in einzelne Theile zu."

Die Glimm- und Büschelentladung in gewöhnlicher Luft, sowie der Funke und der elektrische Wind werden, selbst durch einen sehr kräftigen Magneten, nicht in merklicher Weise beeinflusst.[1]) Die Wirkung kommt erst zum Vorschein bei Verdünnung der Luft und wird um so stärker, je mehr der Gasdruck sinkt.

Wäre die ganze von der Entladung durchsetzte Luftmasse an derselben betheiligt, so wäre dieses Verhalten nicht verständlich. Sind aber nur einzelne Moleküle oder Atome die Träger des Stromes, so ist klar, dass die Ablenkung eine um so grössere sein muss, je geringer der Reibungswiderstand, d. h. je grösser die mittlere Weglänge der Moleküle oder je kleiner der Druck des Gases ist. Durch die Abstossung der in einem bestimmten Momente betheiligten Moleküle von der Strombahn wird deren hohe Temperatur auf die angrenzende Luftstrecke, in welche sie hineingetrieben werden, übertragen, so dass nun der Strom seinen Weg durch diese nimmt, um alsbald wieder auf eine neue überzugehen. Ebenso wie die Temperatur geht auch die Bewegung der abgestossenen Moleküle auf die Luft über und bringt dadurch die Erscheinung des senkrecht zur Entladungsbahn wehenden magnetischen Windes hervor.

Diesen Betrachtungen zufolge ist es also unzulässig anzunehmen, durch magnetische Kräfte werde nur die Entladung selbst, d. h. der unsichtbare, imponderable Träger derselben, der Aether, beeinflusst, nicht die Materie des Gases; vielmehr wird, ganz wie in anderen Fällen, gerade dieses ponderable Substrat beeinflusst, und eine Wirkung auf den Aether lässt sich nicht erkennen.[2])

---

1) Vgl. Plücker, Pogg. Ann. **103**, 153, 1888 u. **113**, 252, 1861 u. W. v. Bezold, Wied. Ann. **11**, 790, 1880.

2) Wie erklärt sich nun aber das anfangs beschriebene Versuchsergebniss Goldsteins, die scheinbare Unbeweglichkeit des stromdurchflossenen Natriumdampfs im magnetischen Felde? Ich vermuthe, dass diese auffallende Erscheinung auf der Art und Weise der Vertheilung des Stromes in gemischten Gasen, sowie auf der bereits von de la Rive und Sarasin erkannten Hemmung der Gasströmung bei der gewählten Versuchsanordnung beruht.

Dass, wie Braun (1878) fand, eine den Strom leitende Flamme von einem Magneten nicht beeinflusst wird, dürfte wohl auf die allzu geringe Stromstärke und den zu grossen Reibungswiderstand der Luft von gewöhnlicher Dichte zurückzuführen sein.

Ein weiteres Beispiel dafür, dass da, wo sich der Bewegung der Luft Hindernisse entgegenstellen, auch keine Ablenkung stattfindet, ist die Aureole des Lichtbogens. Wenn auch im Innern eines Leiters auf dessen Querschnitt die Stromdichte konstant ist, keine

Bei meinen Versuchen über Lichtbogen im Vakuum in den grossen Luftpumpenrezipienten zeigte sich die Aureole gegen Annäherung eines Magneten ausserordentlich empfindlich und verschob sich ganz so, wie wenn sie zusammengesetzt wäre aus einem Bündel äusserst biegsamer Stromfäden, welche den in Fig. 7 (rechts) dargestellten Verlauf nehmen.

Man kann hierin eine Bestätigung der Ansicht finden, dass die Stromlinien den in Fig. 171 dargestellten Verlauf nehmen und die Aureole somit wirklich das ganze vom Strom durchflossene Gebiet und nur dieses ist.

Wäre nämlich nur die rothe Lichtsäule in der Mitte der Aureole oder nur ein Theil der Aureole an der Leitung des Stromes betheiligt, so wäre nicht verständlich, dass der Zusammenhang des Ganzen bei Annäherung eines Magneten völlig ungeändert bleibt und anscheinend gleichmässige Verschiebung aller Theile des Lichtgebildes eintritt.

Sowohl die bereits früher beschriebenen Versuche von Plücker, Hittorf und Goldstein, wie auch eigene scheinen mir mit der dargelegten Ansicht über das Wesen der magnetischen Wirkung aus Gasentladungen vollkommen in Einklang zu stehen.

Von eigenen Versuchen seien noch die folgenden erwähnt: Wird ein Gefäss, wie das in der Fig. 231 oben und Fig. 233 gezeichnete, dessen Boden aus einer Kupferplatte besteht, auf die Pole eines Ruhmkorff'schen Elektromagneten aufgesetzt und die Entladung bei verschiedenen Gasdichten untersucht, so erfolgt bei Drucken über 20 mm keine merkliche Ablenkung. Dann beginnt sich der Lichtstreif nach einer Seite zu krümmen, wobei die Stelle, an der sich positives und negatives Büschellicht zusammensetzen, am meisten abgelenkt erscheint. Gleichzeitig tritt eine seitliche Kontraktion der Lichtmasse ein, und bei grosser Verdünnung (1 mm) erscheint die Entladung als papierdünne, von zwei Bogenlinien begrenzte Lichtfläche, wie dies Fig. 231 links oben zeigt.

Werden die Pole gewechselt, so dass die Spitze negativ, die Platte positiv ist, so geht das positive Büschellicht von sämmtlichen Punkten eines Halbkreises aus und bildet ein Gewölbe, dessen vertikale Grenzfläche das in die Richtung der magnetischen Kraftlinien gelagerte negative Glimmlicht bildet (Fig. 232 rechts oben und Fig. 233). Speziell gilt diese Regel für die Streifenentladung. (Fig. 231 rechts unten und Fig. 233

---

magnetische Kraft auftritt, so gilt dies doch nicht aus den bereits S. 308 erörterten Gründen für den Lichtbogen. In Folge der gegenseitigen Anziehung der von gleichen Strömen durchflossenen Stromfäden müsste sich die Aureole selbst kontrahiren, diese Kontraktion tritt aber nicht ein, weil eine stationäre Bewegung des Gases von allen Seiten gegen die Achse hin unmöglich ist. Fände eine direkte Ablenkung der Kathodenstrahlen durch magnetische Kräfte statt, so könnte eine solche Störung der Luftbewegung keinen Einfluss haben.

Ueber die Wirkung des Stromes in den Zuleitungen auf den Lichtbogen, welche zur Konstruktion von Leitungsblitzableitern Verwendung findet, siehe Görges, elektrot. Zeitschr. **18**, 214, 1897.

zeigen den Glimmlichtbogen für ein kugelförmiges Gefäss [Anode oben, unsichtbar].[1])

Im Falle der Glimmentladung erstreckt sich der Glimmlichtbogen nicht bis zur Platte, sondern nur auf geringe Entfernung von der Kathode, während sich das Gewölbe von Büschellicht zu einem Streifen zusammenzieht, dessen Ebene auf der Fläche des Glimmlichtbogens senkrecht steht. (Die Fig. 231 links unten zeigt diese Erscheinung [perspektivisch] für ein kugelförmiges Gefäss [Anode oben am höchsten Punkte].)

Büschelentladung verhält sich ähnlich wie Streifenentladung, nur ist wie bei der Glimmentladung ein Bogen Büschellichts bevorzugt.

Die Funkenentladung erleidet entweder keine Ablenkung oder folgt der Umgrenzung des Büschellichtgewölbes, und zwar vom Ende der Kathode

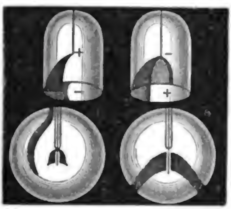


Fig. 231.



Fig. 232.



Fig. 233.

ausgehend, zunächst längs der inneren Begrenzung des Glimmlichtbogens, dann längs der äusseren Grenze der Basis des Gewölbes fortschreitend.

Es erinnert dies an die oben beschriebene Erscheinung in gewöhnlichen Geissler'schen Röhren, dass das positive Licht sich häufig an der Oberfläche des blauen Glimmlichts hinzieht, wie man bei Ablenkung der Entladung durch Einwirkung eines Magneten besonders gut erkennen kann. (Vgl. Taf. VII Fig. 9.)

Verlaufen die magnetischen Kraftlinien senkrecht zur Ebene des Papiers, so breitet sich, wie schon Th. Meyer beobachtete, das negative Licht zu einer Fläche aus, welche diejenigen Kraftlinien enthält, welche durch die Kathode hindurchgehen; das positive Licht wird an die Wand des Rohres gedrückt und zieht sich von hier in flatternden, wie zerrissen aussehenden Streifen gegen die blaue Lichtscheibe hin aus, dieselbe auf beiden Seiten bedeckend[2]) (Fig. 234).

1) O. L., Wied. Ann. 22, 323, 1884 und O. L., Molekularphysik II, 318, ferner Frick-Lehmann, Phys. Technik II, 544, 1895.

2) Hierdurch erklärt sich die eigenthümliche Schichtung, welche Th. Meyer (1858) auf der einen Hälfte der Glimmlichtfläche beobachtete. Dies sind positive Schichten, die der Glimmlichtfläche dicht anliegen.

In stärker evakuirten Gefässen erkennt man, dass die negativen blauen Strahlen (Kathodenstrahlen) ebenso abgelenkt werden, wie das positive Licht, mit welchem sie sich an der grün phosphoreszirenden Stelle der Glaswand vereinigen.

Sehr deutlich zeigte sich der Uebergang des Stromes zur Glaswand bei einer gewöhnlichen Crookes'schen Röhre mit drahtförmiger Anode und plattenförmiger Kathode, als dieselbe zwischen die Pole eines Magneten gebracht wurde.[1])

Das von der Mitte der Kathode ausgehende intensive Kathodenstrahlenbündel wandte sich magnetisch abgelenkt zur Seitenwand der Röhre, daselbst intensives grünes Licht erzeugend. Nach demselben grünen Lichtfleck zog sich aber auch die in Folge des vergrösserten Widerstandes stark kontrahirte und dadurch sichtbar hervortretende positive Entladung, wie die Fig. 3 Taf. IX zeigt.

Sehr auffallend ist, wie oben S. 328 beschrieben, die Durchkreuzung der Stromlinien bei der Hittorf'schen Röhre mit winkelförmiger von der Anode



Fig. 234.

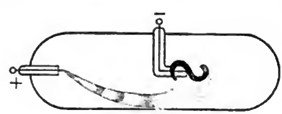


Fig. 235.

abgewandter Kathode. Wurde dieselbe in das magnetische Feld gebracht, so war, wie Fig. 4 Taf. IX andeutet, sehr deutlich sichtbar, wie die Kathodenstrahlen zur Glaswand gehen und dort mit dem positiven Licht zusammentreffen.

Wird die magnetische Kraft verstärkt, so verschwinden die meisten Strahlen, welche nicht in die Richtung der magnetischen Kraftlinien fallen, während die übrigen mit grösserer Intensität auftreten. Die wenig abweichenden haben ebenso wie das positive Licht eine Tendenz, sich spiralig um die Kraftlinien herumzuwickeln. Man beobachtet deshalb bei einer Hittorf'schen Röhre mit winkelförmig gebogener, bis auf die Spitze mit Glas umhüllter, von der Anode abgewandter Kathode, wie Fig. 235 zeigt, die Bildung zweier S-förmiger grüner Flecke an den Stellen, wo die durch die Kathodenspitze gehenden Kraftlinien die Glaswand schneiden. Bei noch weiterer Verstärkung des Magnetismus ziehen sich diese Flecke auf Punkte zusammen.

Befand sich die Kathode im Innern einer geschlossenen aus Drahtnetz gebildeten Anode in einem geräumigen Glaskolben (Taf. IX Fig. 7), so verschwanden im Magnetfeld die aus dem Drahtnetz herauskommenden Strahlen bis auf diejenigen, welche die Richtung der durch die Kathode gehenden magnetischen Kraftlinie haben, welche nun stärker leuchtend wurden (Taf. X Fig. 1).

1) Vgl. auch Domalip, Wien. Ber. (2) **81**, 8. April 1880.

Beim Wechsel der Pole sah man im Innern des Drahtkorbes einen blauen Ring senkrecht zur Kraftlinie, offenbar durch Rotation der Entladung um letztere entstehen.[1]) Taf. X Fig. 2.

Bringt man nach Birkeland[2]) eine Crookes'sche Röhre mit Kreuz in die Nähe eines Magnetpols, so dass die Kraftlinien in der Richtung der Achse hindurchgehen, so vermindert der Schatten des Kreuzes seine Grösse und erscheint für ein den Kraftlinien entlang blickendes Auge im Sinne des Uhrzeigers gedreht.

Eine ähnliche Erscheinung hat Ebert bei einem durch ein spaltförmiges Diaphragma hindurchgeleitetes Kathodenstrahlenbündel beobachtet. (Naturf. Vers. in Frankfurt a. M. 1896.)

Dass die Kathodenstrahlen unter der Annahme, sie seien Bahnen von der Kathode ausgehender negativ elektrisch geladener Partikelchen, solche Spirallinien beschreiben müssen, haben Riecke[3]) und vollständiger Lamprecht[4]) nachgewiesen.

Die Erscheinung ist das Analogon der Drillung eines zwischen zwei Magnetpolen in der Richtung der Kraftlinien durchgeleiteten stromführenden Quecksilberstrahls [nach S. P. Thompson], worauf Lodge[5]) hinweist.

Durch magnetische Ablenkung eines durch ein Diaphragma im Vakuumrohr abgesonderten Bündels Kathodenstrahlen kann man nach demselben Autor eine Art Spektrum erhalten. An Stelle des ursprünglich (bei Ableitung der Anode) sehr scharfen Phosphoreszenzflecks, dessen Breite sich mit dem Drucke ändert, und mit abnehmendem Druck sehr gering wird, so dass man eine feine Linie ähnlich einer Spektrallinie erhalten kann, tritt bei Einwirkung eines Elektromagneten ein ganzes System von Linien, welche sich im Allgemeinen in fortwährender Bewegung befinden und ein ganzes Spektrum von verwaschenen Linien oder Streifen zu bilden scheinen. Die Grösse der Ablenkung schien abhängig zu sein von der Spannung zwischen Kathode und Anode.[6])

Nach Ebert zeigt sich auch bei obigem Rotationsversuch eine ähnliche Dispersion, welche er „elektromagnetische Rotationsdispersion" nennt.[7])

J. Precht[8]) photographirte die bereits von Hittorf beobachtete Deformation der Kathodenstrahlen im magnetischen Felde.

Bei diesen Photographien ist sehr deutlich zu sehen, dass die erste Kathodenschicht (Lichtsaum) oder die damit identischen Goldstein'schen[9]) Kanalstrahlen nicht von dem magnetischen Feld beeinflusst werden. Dies ist

1) O. L., Wied. Ann. **56**, 340, 1895.
2) Birkeland, Beibl. **20**, 802, 1896.
3) Riecke, Wied. Ann. **13**, 191, 1881.
4) Lamprecht, Wied. Ann. **19**, 580, 1886.
5) Lodge, Neueste Anschauungen über Elektrizität, Leipzig 1896, S. 182.
6) Birkeland, C. R. **123**, 492, 1896.
7) Vgl. auch J. A. Fleming, Electrician **38**, 864, 1897.
8) J. Precht, Untersuchungen über Kathodenstrahlen, Heidelberg 1897.
9) Goldstein, Berl. Ber. **39**, 691, 1886.

wohl deshalb der Fall, weil die erste Kathodenschicht die Entladungen einleitet und zu kurz dauert, als dass sich während derselben die Gasmoleküle bewegen könnten. Immerhin erhalten die Moleküle durch die magnetische Kraft einen Stoss und bewegen sich nun dem Trägheitsgesetz entsprechend weiter, so dass die dann folgende Glimmlichtentladung dieselben bereits verschoben vorfindet und deshalb, weil sie dem heissen und dissociirten Gase folgt, in gleicher Weise verschoben wird.

Durch die magnetische Ablenkung der Entladung ändert sich, wie man z. B. bei Verwendung eines Induktionsapparates nach Plücker[1]) schon an dem veränderten Geräusch des Hammers erkennen kann, der scheinbare Widerstand der Gasstrecke. Zur Aufrechterhaltung der Entladung wird, wie sich z. B. durch die Vermehrung der Schichtenzahl[2]) kundgiebt, grössere Spannung nöthig. Der scheinbare Widerstand kann so gross werden, dass, wie bereits Th. Meyer (1858)[3]) und Grove[4]), später Hertz (1883), Ebert und E. Wiedemann (1893)[5]) und ich selbst[6]) beobachteten, die Entladung ausgelöscht wird, vielleicht in Folge der Einwirkung des Magneten auf eine der leuchtenden Entladung vorangehende dunkle.[7])

Nach Dorn[8]) wirkt das magnetische Feld auf elektrodenlose Röhren, auf welchen sehr schnelle Schwingungen einwirken, so, als wenn der positive Strom von jeder Elektrode nur bis zu dem Theil der Röhre zwischen den Polen ginge. In einer Röhre mit Luft von 1 mm Druck gelang es, Entladungen zu erzeugen, welche durch den Elektromagnet nicht merklich beeinflusst wurden.

Elster und Geitel[9]) beobachteten in einer mit Hochfrequenzstrom gespeisten Vakuumröhre zweierlei Kathodenstrahlen, die in gerade entgegengesetzter Weise vom Magneten abgelenkt wurden. Vermuthlich handelt es sich dabei um den Kathodenstrahlen ähnliches positives Licht.

Des Coudres[10]) und Wiechert[11]) benutzten die magnetische Ablenkung der Kathodenstrahlen, um deren Ausbreitungsgeschwindigkeit zu bestimmen. Hierzu ist nur nöthig einen von sehr raschen elektrischen Schwingungen durchflossenen Draht dem Entladungsrohr entlang zu führen. Durch die magnetische Kraft der elektrischen Schwingungen wird das der Achse des Rohres entlang fortschreitende Kathodenstrahlenbündel ausgebogen und zwar abwechselnd nach

---

1) Plücker, Pogg. Ann. **114**, 119, 1858.
2) Wüllner, Pogg. Ann. J. 45, 1874.
3) Th. Meyer, l. c. S. 22, 1858.
4) Grove, Proc. Roy. Soc. **10**, 261, 1860.
5) Nach O. L. in Fricks phys. Technik, 6. Aufl. II, 544, 1895.
6) O. L., Wied. Ann. **56**, 320. 1895.
7) Vgl. dagegen Jaumann, Wied. Ann. **62**, 403, 1897.
8) Dorn, Beibl. **17**, 361, 1893.
9) Elster und Geitel, Naturforscherverѕ. zu Braunschweig 1897.
10) Des Coudres, Verh. d. phys. Ges. Berlin, 29. Nov. 1895.
11) Wiechert, Beibl. **21**, 443, 1897.

der einen oder andern Seite, je nach der Phase des Wechselstroms, welche es beim Fortschreiten bis zu der betr. Stelle antrifft. Es ergab sich eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Kathodenstrahlen von über $2 \cdot 10^8$ bis $30 \cdot 10^8$ cm pro Sekunde.

---

51. Elektrostatische Wirkungen (Deflexion von Kathodenstrahlen).

Schon oben (S. 174) wurde darauf hingewiesen, dass auf kontinuirliche Ströme das Annähern oder Entfernen elektrisirter Körper, sobald wieder stationärer Zustand eingetreten ist, ganz ohne Einfluss bleibt. Wären also die Entladungen in Gasen kontinuirliche elektrische Ströme, so könnte von elektrostatischen Einwirkungen in dem Sinne, wie von magnetischen Einwirkungen gesprochen wird, keine Rede sein. Hierauf weist auch Schuster (1884) hin, welcher besonders darauf aufmerksam macht, dass ein nichtleitender Körper in einem gutleitenden Raum (z. B. in einem von Entladung durchsetzten Gase) ebensogut als Schirm gegen elektrostatische Einflüsse wirkt (indem er sich statisch mit entgegengesetzter Elektrizität bedeckt), wie ein von Nichtleitern umgebener Leiter, so dass man unmöglich eine Anziehung oder Abstossung eines statisch geladenen Körpers auf die Entladungen erwarten kann, wenn man dieselben als stetige Ströme auffasst.

Gleiches wird aber auch für sehr schnell intermittirende Ströme gelten, wenn die Pulsationen so rasch auf einander folgen, dass die auf dem nichtleitenden Körper (z. B. der Glaswandung einer Vakuumröhre) entstandene Ladung mit entgegengesetzter Elektrizität, welche die Wirkung des elektrischen Körpers kompensirt, nicht durch Leitung oder auf andere Weise sich entfernen kann. Selbst in freier Luft wird man solche elektrostatische Einflüsse nicht in allen Fällen erwarten können, da sich auch auf dem elektrisirten Körper selbst eine nach aussen völlig unwirksame Doppelschicht ausbilden kann.

Wie bereits Voller (1880) gezeigt hat, bewirkt thatsächlich Annäherung elektrischer Körper an die Entladungsröhren keine Ablenkung der Kathodenstrahlen.

Hertz (1883) zeigte weiter, dass selbst dann, wenn man einen Kathodenstrahl zwischen zwei mit einer Potentialdifferenz von ca. 20 Daniell geladenen, im Rohr selbst angebrachten Platten durchleitet, keine Ablenkung eintritt.[1])

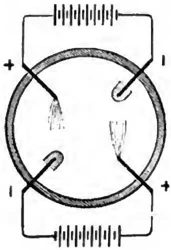
Offenbar wird eine Wirkung nur dann eintreten können, wenn man im Momente der Entladung eine störende Elektrizitätsmenge von gleicher Grössenordnung mit der zur Entladung kommenden in die Entladungsbahn bringt, d. h. wenn man durch das gleiche Gefäss gleichzeitig zwei Ströme durchgehen lässt.

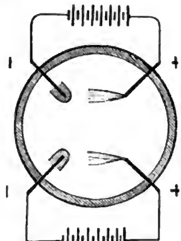
---

1) Durch sorgfältige Versuche hat dies neuerdings Drude (Naturforschervers. Braunschweig 1897) bestätigt.

Aber auch hierbei ist nicht ohne Weiteres auf einen Erfolg zu rechnen.

Nehmen wir z. B. an, es seien in ein kugelförmiges Gefäss vier Elektroden eingesetzt. Man könnte dieselben entweder so wie Fig. 236 oder wie Fig. 237 zeigt, mit zwei gleichen Akkumulatorenbatterien verbinden, in keinem der beiden Fälle würde indess eine Durchkreuzung der Entladungen eintreten.[1])


Fig. 236.


Fig. 237.

Eine Störung würde nur bei grosser Nähe der Elektroden zu erwarten sein, dann, wenn zwei gleich elektrisirte Elektroden einander nahe sind. Im entgegengesetzten Fall würde man nichts anderes erhalten, als was auch bei einer Elektrizitätsquelle bei geringer Distanz der Elektroden eintritt. In ersterem Falle wird man ebenso zweckmässig die beiden Elektroden an dieselbe Elektrizitätsquelle anschliessen, d. h. eine einzige Elektrode anwenden, welche sich in zwei Enden gabelt oder einfach einen einspringenden Winkel besitzt.

Was dann geschieht, wurde schon früher S. 172 erörtert für den Fall der Glimmlichtbildung. Auffallendere Erscheinungen erhält man bei Bildung von Kathodenstrahlen. (Vgl. G. Jaumann, Wien. Akad. **106**, II, 533, 1897.)

Werden (nach Crookes) zwei gegen einander konvergirende Kathodenstrahlenbündel durch ein Diaphragma mit zwei Oeffnungen isolirt, so werden sie weniger konvergent, stossen sich also gegenseitig ab (Fig. 238), indess nur bei intensiver Entladung und sehr geringem Winkel. Bei grösserem Winkel tritt angeblich Durchkreuzung ein. (E. Wiedemann 1883.)

Letzteres dürfte nach dem, was auf S. 342 über die gegenseitige Abstossung der von hohlspiegelförmigen Kathoden ausgehenden Strahlen gesagt

---

1) Gassiot suchte, indess ohne Erfolg, die Interferenz zweier Wechselstromentladungen in derselben Vakuumröhre nachzuweisen, indem er je zwei Elektroden mit einem besonderen Ruhmkorff verband.

Warren de la Rue und H. Müller (1883) versahen ein kreuzförmiges Rohr an den Enden mit Elektroden und brachten je zwei gegenüberstehende mit den Polen einer Batterie in Verbindung, so dass zu erwarten war, dass sich die Ströme der beiden Batterien durchkreuzen würden. Thatsächlich drängte der eine Strom den andern an der Kreuzungsstelle zur Seite und bei grösseren Stromintensitäten trat überhaupt keine Kreuzung ein, sondern die Lichtströme bogen am Kreuzungspunkt nach entgegengesetzten Richtungen jeder zur nächsten entgegengesetzten Elektrode rechtwinklig ab, so dass nicht zwei getrennte Stromkreise entstanden, sondern ein einziger, indem nun der Strom hinter einander beide Batterien durchfloss. (Vgl. Fig. 236.)

wurde, irrig sein. Ueberhaupt sind diese Erscheinungen bis jetzt weder nach der experimentellen noch nach der theoretischen Seite hin genügend aufgeklärt.

Jedenfalls wird man berücksichtigen müssen, dass die Entladung gleichzeitig an beiden Kathoden eintritt, da sie mit derselben Stromquelle verbunden sind und dass in jedem Moment diejenige Fläche, an welcher die Kathodenstrahlen während ihrer Entwicklung gerade endigen, eine Niveaufläche sein muss. (O. L., Wied. Ann. **22**, 339, 1884; Jaumann, l. c.).

Es wird somit das Fortschreiten der Kathodenstrahlen auch wesentlich durch die Gestalt des Gefässes und die Lage der Anode, sowie die Art der Stromzuführung zur Kathode bedingt sein müssen. Der Fall, dass die Kathodenstrahlen wirklich geradlinig sind, wird ein sehr seltener Ausnahmefall sein.

Goldstein (1876) beobachtete auch eine Ablenkung der Kathodenstrahlen, wenn dieselben auf ihrer Fortpflanzungsrichtung einer zweiten Kathode begeg-

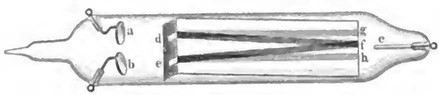


Fig. 238.

neten. Er nennt diese Erscheinung „Deflexion" der Kathodenstrahlen und definirt dieselbe in folgenden Worten:

„An der negativen Elektrode befindet sich der Sitz einer Abstossung, welche bewirkt, dass jeder in der Nähe der Kathode vorbeistreichende Entladungsstrahl eine Ablenkung von der Kathode fort erhält. — Ich habe mich durch besonders angestellte Versuche direkt überzeugt, dass die betheiligten Strahlen bis nahe an die Kathode geradlinig ihren Weg verfolgen und dort fast plötzlich umgeknickt werden, so dass sie die Form von Hyperbelzweigen annehmen.

Hittorf (1883) stimmt Goldstein nicht ganz bei. „Bei der Wiederholung und Modifizirung der wichtigsten seiner Versuche finde ich aber, dass die Strahlen aussen in der Nähe der andern Kathode endigen; nur diejenigen, welche in grösserem Abstand bleiben, werden abgelenkt und setzen ihren Weg fort."

Deslandres[1]) findet in Uebereinstimmung mit Goldstein, dass ein Kathodenstrahlenbündel durch Deflexion in eine grosse Anzahl einzelner Kathodenstrahlen zerlegt werden kann, welche er simple Kathodenstrahlen nennt. Bei Erregung durch einen Tesla-d'Arsonval Hochfrequenztransformator trat unter bestimmten Bedingungen nur ein einziger abgelenkter Strahl, eine einzige Linie in dem Kathodenstrahlenspektrum auf. Mit zunehmender Funkenstrecke im Erreger spaltete sich diese Linie in mehrere sehr bewegliche Linien und zog sich dann wieder in eine einzige, aber weniger stark abgelenkte zusammen.

1) Deslandres, C. R. **124**, 678, 945, 1297, 1897; vgl. ferner Schmidt, Naturforschervers. Braunschweig 1897 und das Kapitel „elektrische Strahlung."

Hertz beobachtete bei dem schon oben erwähnten Versuche, bei welchem Kathodenstrahlen zwischen zwei plattenförmigen Elektroden durchgeleitet wurden, eine, freilich schwache, Ablenkung, als bei noch höherer Ladung, als oben angegeben, eine Bogenentladung zwischen den beiden Platten eintrat.



Fig. 239 — 241.

Eine andere, gleichfalls von Goldstein entdeckte Erscheinung, welche augenscheinlich mit der Deflexion der Kathodenstrahlen zusammenhängt, ist die Entstehung von Phosphoreszenzbildern der Elektroden, welche an die oben S. 88 beschriebenen, bei der Glimmentladung in freier Luft auftretenden effluviographischen Abbildungen von Münzen u. s. w. erinnern. Die Figg. 242 bis 244 stellen beispielsweise die durch einen quadratischen Hohlspiegel bei



Fig. 242.



Fig. 243.

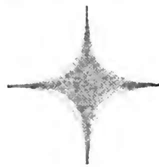


Fig. 244.

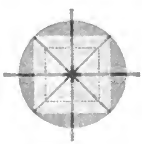


Fig. 245.

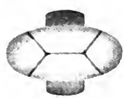


Fig. 246.

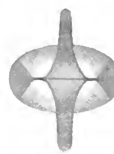


Fig. 247.

immer wachsender Verdünnung erzeugten Figuren, die Figg. 245, 246 und 247 die von einer ebenen quadratischen, bezw. rechteckigen und elliptischen Kathode hervorgebrachten dar, die Fig. 248 giebt die Abbildung des in Fig. 249 dargestellten Fünfecks aus Draht wieder.[1])

Goldstein bemerkt dazu:

„Die Erzeugung der . . . beschriebenen Konfigurationen steht in Zusammenhang mit der eben erwähnten Ablenkung an der Kathode, da auch die Strahlen von Elementen einer und derselben Kathode, wenn sie an andern Elementen derselben Oberfläche in geeigneter Lage vorbeigehen, dieser Ablenkung unterworfen sind.

Die durch weitere Erfahrungen festgestellte Thatsache, dass der Kathode eingeprägte Muster sich im grünen Phosphoreszenzlichte markiren, folgt aus diesem Zusammenhange.

---

1) Vgl. auch Crookes, Chem. News **39**, 155, 1879.

Ich erwähne beispielsweise, dass der Kopf einer als Kathode benutzten Münze sich auf diese Weise im Phosphoreszenzlichte auf der Glaswand porträtgetreu abbilden lässt, selbt wenn letztere einige Centimeter entfernt ist."

Ferner gehört hierher die Störung der Kathodenstrahlen beim Durchgang durch die positiven Schichten, in welchen unserer Annahme gemäss elektrisirte Luft angehäuft ist.

Goldstein berichtet darüber:

„Lässt man das Kathodenlicht die Schichten transversal, d. h. senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung des Stromes an der betreffenden Stelle, durchsetzen, so wird die Vertheilung der Strahlen in merkwürdiger Weise geändert.

Anstatt, wie ohne Vorhandensein der Schichten, an der Glaswand ein bestimmte Fläche kontinuirlich und mehr oder weniger gleichförmig mit grünem Schimmer zu bedecken, zeigte sich das grüne Licht jetzt in einer Reihe feiner, sehr heller Streifen konzentrirt, deren Richtung senkrecht ist zur Richtung der Entladung. . . .

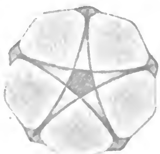

Fig. 248.


Fig. 249.

Erzeugt man durch besondere Vorrichtungen Kathodenlicht, das inmitten einer Schichtsäule von einem festen Körper seinen Ursprung nimmt, während die Strahlen desselben sich nach den Wänden der Röhre ausbreiten, so bildet sich an der Wand unter dem Einfluss der negativen Strahlen, anstatt einer gleichmässig erleuchteten kontinuirlichen Fläche, ein System prachtvoller grüner feiner Ringe, die senkrecht zur Entladungsrichtung der Schichten in ganz denselben Zwischenräumen auf einander folgen, wie die Schichten, und falls diese die bekannte hüpfende Bewegung zeigen, in ganz demselben Tempo an der Glaswand auf und nieder oscilliren. Jeder einzelnen Schicht entspricht ein einzelner solcher Ring."

Spottiswoode und Moulton[1]) versahen eine Geissler'sche Röhre mit einer der Länge nach aufgeklebten äusseren Elektrode, welche mit dem positiven Pol einer Influenzmaschine verbunden war, während der negative mit einer der Elektroden verbunden wurde. Ausserdem wurde eine Funkenstrecke parallel geschaltet, so dass die Röhre beim Ueberspringen der Funken alternirend geladen und entladen wurde. Auf der der äusseren Elektrode gegenüber liegenden Wand des Rohres zeigte sich dann grünes Fluoreszenzlicht. Wurde gleichzeitig durch die Röhre der Strom einer zweiten Influenzmaschine geschickt, welcher Schichtungen erzeugte, so war da, wo die hellen Schichten auftraten, das Phosphoreszenzlicht abgeschnitten, dagegen da, wo die dunklen Räume waren, erschien es eben so hell wie zuvor.[2])

1) Spottiswoode und Moulton, Proc. Roy. Soc. Lond. **32**, 385, 1881.

2) Siehe ferner Barr und Phillips, Beibl. **21**, 445, 1897; Majorana, Beibl. **21**, 783, 1897; Jaumann, Wien. Akad. **106**, IIa, 533, 1897.

Zwei Bündel Kanalstrahlen (vgl. S. 332) können nach Goldstein einander durchkreuzen, ohne sich abzulenken oder zu einem einzigen Bündel zu vereinigen.[1])

Nach unserer Auffassung vom Wesen der Kanalstrahlen ist dieses Verhalten, falls es sich wirklich um gleichzeitig auftretende Strahlen handelt, unverständlich und es muss weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben, hier Klarheit zu schaffen. (Vgl. auch „Kanalstrahlen“ unter „elektrische Strahlung.“)

Wenn oben gesagt wurde, dass der Weg der Strahlen sich aus der Form der für jeden Moment konstruirten Niveauflächen ergeben muss, so ist dies natürlich nur eine flüchtige Andeutung, wie die Erscheinung aufgefasst werden könnte. In Wirklichkeit handelt es sich nicht um ein statisches, sondern ein dynamisches Problem und die Richtung der Fortpflanzung der Strahlen lässt sich deshalb nicht ohne Weiteres übersehen.

52. Empfindliche Entladungen.

Erzeugt man in einem elektrischen Ei Büschel- oder Streifenentladung, indem man vor Anode oder Kathode eine kleine Funkenstrecke einschaltet, so verhält sich das Glasgefäss wie eine Vakuumflasche, indem es sich zunächst mit derjenigen Elektrizität ladet, welcher der Eintritt nicht durch eine Funkenstrecke erschwert ist. Es muss sich deshalb eine Aenderung ergeben, falls wir die Bindung der Elektrizität durch ableitende Berührung des Gefässes verstärken. Den thatsächlichen Erfolg zeigen die Figg. 250 und 251, einem Drucke von 6 mm entsprechend, erstere Streifenentladung, letztere Büschelentladung darstellend.[2])

Die Ableitung wurde bewirkt durch ein aufgelegtes Stanniolblättchen, welches durch einen in den Figuren sichtbaren Draht mit der Erde in Verbindung stand.

Wird bei diesen Versuchen auf der Aussenseite des evakuirten Gefässes eine kleine Belegung angebracht, die mit der einen oder anderen Elektrode in Verbindung steht, so ist die Ablenkung im Allgemeinen derart wie bei Ableitung zur Erde, und zwar stärker, wenn durch die Eigenelektrisirung der Belegung die Bindung der Elektrizität (das Gefäss als Vakuumflasche betrachtet) begünstigt wird, schwächer im umgekehrten Falle. (O. L., Wied. Ann. **22**, 323, 1884.)

Die ersten Beobachtungen dieser Art machten Du Moncel und Th. Meyer[3]) bei Geissler'schen Röhren, sodann Riess und Plücker.

1) Vgl. auch S. P. Thompson, Proc. Roy. Soc. **61**, 481, 1897. Beibl. **21**, 780, 1897.
2) O. L., Wied. Ann. **22**, 315, 1884. Vgl. auch S. 416.
3) Th. Meyer, Beobachtungen etc. Berlin, Springer, 1858, S. 24.

Als Riess[1]) die ellipsoidische Erweiterung einer Geissler'schen Röhre mit dem Finger berührte, bog sich nicht nur das rothe Licht derselben zu, sondern „es erschien auch unter dem Finger ein schön blaues Licht, das sich mehrere Linien hoch in das Innere des Ellipsoids erhob.“ Man pflegt deshalb diese Stelle jetzt als „sekundäre Kathode“ zu bezeichnen.[2])

Plücker[3]) schreibt: „Ein merkwürdiger Umstand ist die verschiedene Ablenkbarkeit der elektrischen Lichtströmungen, wenn wir die Hand oder einen andern Leiter denselben nähern. .... Schon bei der Annäherung der Hand aus grösserer Entfernung wurde das Licht (bei einer in der Mitte und an beiden Enden mit Erweiterungen versehenen Röhre) in den mittleren Cylinder abgelenkt. Wenn man den Cylinder mit den Fingern berührte, wurde das Licht bald zu den berührten Stellen hingezogen und konzentrirte sich daselbst,

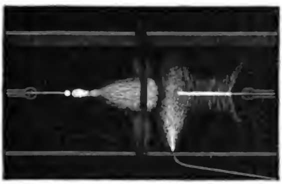


Fig. 250.

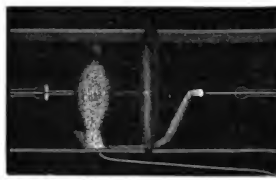


Fig. 251.

bald floh es von den berührten Stellen, indem zugleich breite dunkle Schichten die Lichtströmung in dem Cylinder unterbrachen. .... Es ergab sich, dass das Licht in dem mittleren Cylinder durch die Hand entweder angezogen oder abgestossen wird; je nachdem die positive Lichtströmung aus der weiteren oder engeren dieser beiden Verbindungsröhren in den weiten mittleren Cylinder eintritt.“

Berührt man die Röhre in der Nähe der ersten an den dunkeln Kathodenraum angrenzenden Schicht, so vergrössert sich letzterer, die positiven Schichten werden nach dem positiven Pol zurückgedrängt.[4])

Goldstein (1876) beobachtete, „dass die vom Leiter berührte (bezw. ihm nächste) Stelle der Gefässwand an ihrer Innenseite sich vollkommen wie eine Kathode verhält, und dementsprechend Licht aussendet, das mit allen für das Kathodenlicht bekannten Eigenschaften ausgestattet ist.“

---

1) Riess, Pogg. Ann. **104**, 321, 1858; Reitlinger und v. Urbanitzky, Wien. Sitzb. **72** (2), 685, 1876; G. Jaumann, Wien. Sitzb. **106**, (2), 533, 1897.

2) G. Wiedemann, Pogg. Ann. **158**, 69, 1876; Reitlinger und v. Urbanitzky, l. c. und Moulton und Spottiswoode, Proc. Roy. Soc. **29**, 21, 1879; Phil. Trans. **1**, 561, 1879; **2**, 165, 1880 und Hittorf, Wied. Ann. **7**, 566, 1879. Siehe auch S. 373.

3) Plücker, Pogg. Ann. **104**, 121, 1858.

4) Plücker, Pogg. Ann. **105**, 72, 1858.

Aehnliche Beobachtungen machten Reitlinger und Urbanitzky[1]) (1876) und Spottiswoode und Moulton.[2]) Sie beobachteten insbesondere, dass überall da, wo sich eine sekundäre Kathode bildet, das dort vorhandene positive Licht zurückgetrieben wird.[3])

Werden zwei gegenüberstehende Stellen eines Entladungsrohres berührt, so heben sich die sekundären Kathodenstrahlen nach den Beobachtungen von Moulton und Spottiswoode auf, es entsteht kein Phosphoreszenzlicht.

E. Wiedemann[4]) erhielt beim Berühren eines kugelförmigen Entladungsgefässes auf dem gegenüberliegenden Punkte der Kugel ein deutliches Schattenbild der Elektrode, umgeben von einem schön grünen Strahlenkranze.

Durch die Bildung sekundärer Kathoden bei ableitender Berührung einer hochevakuirten Röhre kann in Folge des auftretenden dunkeln Kathodenraumes der Durchgang des Stromes sehr erschwert werden.[5])

Gleiches gilt für sekundäre Kathoden im Innern des Gefässes.

Faye[6]) beobachtete, dass das geschichtete positive Licht durch den in Folge Erhitzung der Kathode vergrösserten Kathodenraum scharf abgeschnitten wird, ohne den Vorgang als solchen zu erkennen. Er glaubte vielmehr, es handle sich hier um eine repulsive Kraft der Wärme. Die Beobachtung wurde später wiederholt von Wesendonck,[7]) welcher die Erscheinung richtig deutete. „Das durch seitliche Entladungen an dem Bleche erregte Kathodenlicht kann sich innerhalb des positiven Lichtes der Induktorenentladung bilden und dann aus demselben förmlich ein Stück herausschneiden.“

Hittorf[8]) brachte in die Entladungsbahn in einer Vakuumröhre eine Platinspirale, welche durch einen besonderen Strom zur Weissgluth erhitzt werden konnte. Dabei zeigte sich: „Ist Luft oder Stickstoff das benutzte Gas, so verschwindet in der Umgebung der heissen Spirale das positive Licht und eine breite dunkle Schicht bildet sich hier. Unterbricht man den Strom in der Spirale, so kehrt mit der Erkaltung das positive Licht zurück und ist bereits wieder vorhanden, wenn der Draht noch stark roth glüht. Macht man die Spirale selbst zur Anode des Gasstromes, so ändert das positive Licht, welches ihre Oberfläche bedeckt, mit wachsender Temperatur des Drahtes seine rothgelbe Farbe in die blaue und verschwindet bei der Weissglühhitze ganz.“

Vermuthlich handelt es sich hier um Versuche ähnlich denjenigen von Faye. Die Platinspirale dürfte beim ersten Versuch als sekundäre Kathode wirken.

---

1) Reitlinger und Urbanitzky, Wien. Anz. 1877, 100; Wied. Ann. **10**, 574, 1880, **13**, 670, 1881.

2) Spottiswoode und Moulton, Phil. Trans. 1879 (1), 561, 1880 (2), 165.

3) Vgl. auch Beibl. **3**, 643, 1879.

4) E. Wiedemann, Wied. Ann. **9**, 160, 1880.

5) Siehe Puluj, Wien. Ber. (2) **85**, 871, 1882; ferner Hellmann, Wied. Ann. **14**, 543, 1881.

6) Faye, Ann. du bureau de long. 1883, 766.

7) Wesendonck, Wied. Ann. **26**, 81, 1885.

8) Hittorf, Wied. Ann. **21**, 121, 1884.

Elektrostatische Einwirkungen auf die Entladung beobachtete ferner auch Tesla.[1]) Eine hoch evakuirte Kugel mit einer Elektrode in der Mitte wurde mit einem Pole des Hochfrequenztransformators verbunden und zur Erregung mit der Hand berührt. „Alsdann breitet sich zuerst eine intensive Phosphoreszenz über die Kugel aus, die aber bald einem weissen nebligen Licht Platz macht. Kurz nachher kann man wahrnehmen, dass das Licht ungleichmässig in der Kugel vertheilt ist.... Wenn das Büschel die ... Fig.... angedeutete Form annimmt, kann dasselbe zu einem ausserordentlich hohen Grade von Empfindlichkeit gegen elektrostatische und magnetische Einflüsse gebracht werden. Hängt die Birne an einem Drahte herab und entfernt man alle Gegenstände von derselben, so veranlasst die Annäherung des Beobachters bis auf einige Schritte von der Birne, dass das Büschel nach der entgegengesetzten Seite herumfliegt und wenn der Beobachter um die Birne herumgeht, so hält sich das Büschel stets auf der ihm abgewandten Seite. Lange bevor das Büschel diesen Grad von Empfindlichkeit erreicht, beginnt es sich um die Elektrode herumzudrehen.

Besonders im Anfange dieser rotirenden Bewegung, aber auch vorher schon, wird es von einem Magneten stark beeinflusst und in einem gewissen Stadium ist es gegen magnetische Einflüsse in erstaunlichem Grade empfänglich. Ein kleiner permanenter Magnet mit einem Polabstand von nicht mehr als 2 cm beeinflusst das Büschel merklich auf eine Entfernung von 2 m und verlangsamt oder beschleunigt die Rotation desselben je nach der Lage, in der er gegenüber dem Büschel gehalten wird.

Wenn die Birne mit der Kugel ... nach unten hängt, so erfolgt die Rotation stets in der Richtung des Uhrzeigers. Auf der südlichen Halbkugel würde die Rotation in der entgegengesetzten Richtung stattfinden und am Aequator würde das Büschel überhaupt nicht rotiren".[2])

1) Siehe H. Maser, l. c. S. 227.

2) Eine ähnliche Erscheinung habe ich selbst bei einem grossen stark evakuirten elektrischen Ei beobachtet, als dasselbe so aufgestellt wurde, dass sich die Kathode oben, die Anode unten befand. An ersterer entstand ein kometenartiges, aus negativem Glimmlicht und Büschellicht bestehendes Gebilde *a* (Fig. 252), an letzterer eine Hülle von positivem Glimmlicht. Wurde nun seitlich ein Magnetpol *N* genähert, so kam sowohl das Gebilde *a* wie auch das gewissermaassen durch unsichtbare (in der Figur punktirt angedeutete) Fäden damit verbundene Glimmlicht *b* in Rotation um die Verbindungslinie der Elektroden, mit um so grösserer Geschwindigkeit, je mehr *N* genähert wurde. Wurde der Pol *N* durch den entgegengesetzten ersetzt, so kehrte sich die Rotationsrichtung um. Wahrscheinlich beruht diese Wirkung darauf, dass der von *b* ausgehende elektrische Wind durch den Magneten in schiefe Richtung etwa den Pfeilen *c* entsprechend abgelenkt wird

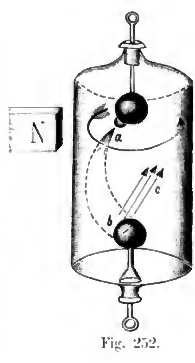


Fig. 252.

Bei Entladung durch eine 1 m lange, mässig evakuirte Röhre mit äusseren Elektroden erhält man nach Tesla[1]) einen dünnen Lichtfaden, der bei Annähern eines Leiters an das Rohr abgelenkt wird und ähnlich einem gezupften Seile bei Wiederentfernung des Körpers in stehende Schwingungen gelangen kann, wie das Seil.

Elster und Geitel[2]) beobachteten die elektrostatischen Wirkungen auf die Entladungen in einer Lenard'schen Röhre, ebenfalls bei Anwendung von Tesla-Strömen. Sie kommen zu dem merkwürdigen Ergebniss, dass in einer Gassäule, welche durch schnelle elektrische Schwingungen zum Leuchten gebracht wird, zugleich selbständige Kathodenstrahlen entstehen, welche frei im Innern beginnen und irgendwo an der Glaswand endigen.

R. Hildebrand[3]) dagegen findet, dass sich die elektrostatischen Einwirkungen auf intermittirende Entladungen in Entladungsröhren leicht nach bekannten einfachen Prinzipien erklären lassen und gründet darauf eine Methode Wechselstromentladungen in solchen Röhren von einander zu scheiden, in ähnlicher Weise, wie es mit Hülfe eines Magneten möglich ist.

Umgekehrt schliesst G. Jaumann[4]) aus solchen Versuchen, bei welchen die Entladung durch Einschalten eines Glaswiderstandes (Wandung der Vakuumröhre) intermittirend gemacht worden war, auf neue sonderbare Eigenschaften der Kathodenstrahlen.

„Bringt man die Entladungsröhre zwischen zwei grosse parallele Kondensatorplatten, so dass noch beiderseits 10 cm Spielraum bleibt, und ladet man dieselben etwa auf die Potentialdifferenz 6000 Volt, so wird der Strahl für eine kurze Zeit von der negativen Platte angezogen und streckt sich sofort wieder. Ladet man nun die Kondensatorplatten aus, so wird der Strahl ebenso stark von der positiven Platte angezogen und streckt sich sofort wieder.

Nähert man (nach Entfernung der Kondensatorplatten) einen geriebenen Hartgummistab aus grosser Entfernung in beliebiger Richtung (von oben, unten oder seitwärts) an die Kathode, so werden die Strahlen auf kurze Zeit angezogen. Entfernt man den Stab, so werden sie für kurze Zeit abgestossen. Ein Glasstab wirkt umgekehrt. Positiv bezw. negativ geladene bewegte Kon-

---

und, an der oberen Wand des Gefässes abprallend, einen durch den gekrümmten Pfeil angedeuteten Luftwirbel erzeugt, durch welchen die Entladung im Kreise herumgeführt wird.

1) Tesla, Beibl. **16**, 769, 1892.

2) Elster und Geitel, Wied. Ann. **56**, 1895. Durch neuere gelegentlich der Naturforscherversammlung in Braunschweig 1897 mitgetheilte Untersuchungen gelangten sie zu dem Ergebniss, dass man unterscheiden müsse zwischen festen Kathodenstrahlen und beweglichen leuchtenden Fäden. Nur die letzteren werden durch Annäherung eines abgeleiteten Leiters beeinflusst und verschieben sich bei Annäherung eines Magneten in entgegengesetzter Richtung wie die festen Kathodenstrahlen. (Vermuthlich sind diese beweglichen Gasfäden die zu den Kathodenstrahlen gehörige positive Büschelentladung. O. L.)

3) R. Hildebrand, Wied. Ann. **59**, 273, 1896.

4) G. Jaumann, Wied. Ann. **59**, 252, 1896.

duktoren wirken entsprechend. Abgeleitete, bewegte Konduktoren, z. B. die Hand, wirken so wie positive Körper, wenn die Anode ... Fig. ..., zur Erde abgeleitet ist. Sie wirken so wie negative Körper, wenn die Kathode zur Erde abgeleitet ist, also die Anode, überhaupt alle Stellen des (zur Isolirung dienenden) Oelbechers ein mehr oder minder hohes positives Potential haben."

Die Erklärung auf Grund seiner eigenen Theorie gelingt Jaumann nicht vollständig. „Am einfachsten wäre es anzunehmen, dass von der Kathode nicht negative, sondern merkwürdigerweise positive Kraftlinien ausgehen, welchen die Kathodenstrahlen folgen." (Vgl. auch Jaumann, Wien. Akad. **106**, II, 533, 1897.)

E. Wiedemann und C. G. Schmidt[1]) protestiren, und wohl mit Recht, gegen diese Auffassung. Schon der Umstand, dass die Wirkung nur so lange dauert als eine Annäherung des elektrisirten Körpers stattfindet, weist mit Entschiedenheit darauf hin, dass es sich nur um Störungen durch die in Folge der Influenz auftretenden Ströme handelt.

53. Entladungsverzüge.

Entladungsverzüge in freier Luft. Bereits Faraday (1838) bemerkte, dass die Spannungsdifferenz der Elektroden allein noch nicht vollkommen den Eintritt der Entladung bestimmt. Beispielsweise vermochte in einem Falle eine Spannungsdifferenz, welche unzureichend war, unter normalen Umständen einen 0,6 Zoll langen Funken zu erzeugen, in seinem Entladungsapparate Entladung hervorzurufen, während unmittelbar darauf eine Spannungsdifferenz, welche einer normalen Schlagweite von 0,8 Zoll entsprach, die Entladung nicht mehr hervorzubringen im Stande war. War zwischen zwei Elektroden einmal eine Entladung übergangen, so fanden die folgenden Entladungen gewöhnlich bei geringerer Spannungsdifferenz statt, als wenn die Elektroden noch unbenutzt waren.

„Dieser Effekt", sagt Faraday, „rührt wahrscheinlich theilweise von der Erwärmung der Luft durch den vorhergehenden Funken, theilweise vom Staub, theilweise auch, wie ich vermuthe, von etwas her, was man bis jetzt bei den Entladungsbedingungen noch nicht erkannt hat."

Riess[2]) schliesst aus gewissen Beobachtungen bei den „elektrischen Pausen" und dem sog. „Uebergangswiderstand", dass der elektrische Funke erst einige Zeit später ausbricht als die Elektroden die dazu nöthige Dichtigkeit erlangt haben und dass, wenn diese Dichtigkeit durch Influenz gesteigert worden, vor dem Funken eine Glimmlichtentladung eintreten kann, der Funke

1) E. Wiedemann und C. G. Schmidt, Wied. Ann. **60**, 510, 1897.

2) Riess, Abhandl. z. Lehre von der Reibungselektrizität, S. 58—61 u. S. 183, 209 u. 210.

somit eine bereits früher eingetretene lichtlose oder lichtschwache Entladung schliesst.

A. Töpler[1]) schliesst dasselbe daraus, dass der erste Funke einer Reihe von Partialentladungen nicht nur sehr merklich hinter dem Anfange des Ladungsstromes zurückbleibt, sondern auch an Helligkeit die übrigen Funken der Reihe weit übertrifft.

Er sagt: „Es besteht somit die Thatsache, dass ein Kondensator sich in einem ihm dargebotenen Schlagraume nicht entladet, bevor eine unter gewissen Umständen sehr messbare Zeit verflossen ist. Dies ist erwiesenermaassen selbst dann der Fall, wenn der Kondensator eine zur Durchbrechung des Schlagraumes mehr als nöthige Ladung besitzt."

Später[2]) schreibt er: „Werden zwei gegenüberstehende Elektroden plötzlich entgegengesetzt geladen, so kann vor dem Ausbruche eines Funkens eine merkliche Zeitdauer vorhergehen, während welcher sowohl die Dichte auf den Elektroden, als die Beschaffenheit des Schlagraumes durch dunkle Entladung geändert wird. Dieser Prozess vollzieht sich nur dann in unmerklich kurzer Zeit, wenn die plötzlich auf den Elektroden hergestellte Spannung um Vielfaches grösser ist, als überhaupt zur Funkenbildung erforderlich."

Warburg[3]) beobachtete bei Versuchen mit einer Drehwaage, bei welcher die Luft verdünnt werden konnte, einen eigenthümlichen Einfluss der Zeitdauer der Ladung der Elektroden.

„Verdünnt man, bis Ausströmen der Elektrizität erfolgt, so tritt dieses, wenn die erforderliche Verdünnung hergestellt ist, nicht sofort ein, sondern gewöhnlich erst nach einigen Minuten. Durch ein gelegentlich vorbeifliegendes Staubtheilchen scheint die Entladung vermittelt zu werden."

Neuerdings beobachtete G. Jaumann Entladungsverzüge bei allmählicher Steigerung der Spannungsdifferenz zweier Elektroden durch Auseinanderziehen der mit denselben verbundenen Kondensatorplatten.[4])

Ich habe diese Versuche Jaumann's bei einem Kondensator von 78 cm Durchmesser wiederholt und bestätigt gefunden. Beispielsweise war die Spannungsdifferenz der Kugeln des mit dem Kondensator verbundenen Funkenmikrometers bei Aufheben der oberen Kondensatorplatte 2400 Volt. Nach längerem Warten ging dann plötzlich ein Funke zwischen den Kugeln über und die Spannungsdifferenz sank auf 1500 Volt. Das Material der Elektroden (Fe, Pb, Cu, Pt, Sn und Messing) war ohne Einfluss auf die Erscheinung.

Jaumann beobachtete auch, ebenso wie Faraday, dass durch starke Entladungen die Elektroden derart verändert werden, dass Entladungsverzüge zunächst nicht mehr eintreten, sondern erst nach mehr oder minder langer Zeit. Durchblasen von Luft zwischen den Elektroden war dabei ohne Einfluss.

1) A. Töpler, Pogg. Ann. **131**, 210, 1867.
2) A. Töpler, Pogg. Ann. **134**, 194, 1868.
3) Warburg, Pogg. Ann. **145**, 595, 1872.
4) G. Jaumann, Sitzungsber. d. Wien. Akad. **104**, IIa. 7, 1895; **106**, IIa, 533, 1897.

Gerade die letzteren Beobachtungen scheinen mir darauf hinzuweisen, dass das Entladungshinderniss an der Oberfläche der Elektroden zu suchen ist. Sollte es vielleicht in der Anlagerung einer elektrisirten Luftschicht bestehen, welche ihre Elektrizität nicht an die Elektrode abzugeben vermag? Eine dünne Oxydschicht würde die Anlagerung dieser Luftschicht begünstigen, starke Entladungen würden dagegen durch Beseitigung der Oxydschicht entgegengesetzt wirken. Schwache Entladungen könnten in Uebereinstimmung mit Jaumann's Beobachtungen die Oxydschicht und damit die Luftschicht verstärken. (Die Wichtigkeit frisch polirter Oberflächen für den Verlauf des Entladungsprozesses ist auch aus den Hertz'schen Untersuchungen zur Genüge bekannt.)

Eine weitere hierher gehörige Erscheinung, bei welcher allerdings auch die „Rückstandsbildung" eine Rolle spielen mag, ist das Knistern der Leydener Flaschen bei nahezu beendigter Ladung, beruhend auf intermittirenden Büschelentladungen, welche sich vom Rande der Belegungen aus auf der unbelegten Glasfläche ausbreiten.

Ziehen wir die Elektroden einer mit Leydener Flaschen verbundenen Influenzmaschine weit aus einander, so erhalten wir beim Drehen der Maschine ebenfalls zirpende, also pulsirende Büschelentladungen wie ohne Flaschen, und doch ist in diesem Falle der Widerstand des die Belegungen verbindenden metallischen Schliessungskreises verschwindend klein und die Spannung ebenso konstant wie an den Polen einer galvanischen Batterie, so dass nicht erschwerte Elektrizitätszufuhr Ursache der Pulsationen sein kann.

Hittorf[1]) beschreibt einen ähnlichen Versuch, welcher zeigt, dass auch bei wirklichen Batterieentladungen die Erscheinungen ganz dieselben sind. An den zugespitzten Enden der Poldrähte seiner vielzelligen Chromsäuretauchbatterie bildeten sich mikroskopische Büschelentladungen, welche, wie er selbst sagt, stets intermittirend waren, unabhängig vom Widerstand der Poldrähte.

Lecher (1887) leitete von den Kohlenspitzen eines Lichtbogens Zweigleitungen nach einem Kondensator. War der Lichtbogen intermittirend, so mussten sich die Leitungen erwärmen, andernfalls kalt bleiben, was nach der Verlängerung dieser Drähte beurtheilt wurde. Dabei fand sich, dass eine solche Wirkung eintrat, sobald der Lichtbogen zischte. Silber- und Kupferelektroden gaben keine Wirkung, Eisen- und Platinelektroden dagegen eine sehr intensive. Bei Platinelektroden brannte der Lichtbogen ruhig bei 3 mm Abstand. Wurde derselbe aber auf $1^1/_2$ mm verringert, so erlosch der Lichtbogen plötzlich mit lautem Knall. Beim Ausschalten des Kondensators oder beim Einschalten einer Spirale in die Leitung trat die Wirkung nicht ein. War die Spirale induzirende Spirale eines Ruhmkorff, so erschienen an der induzirten Spirale bei brennendem Lichtbogen kontinuirlich kleine Fünkchen.

Nach Arons[2]) ist die Entladung im Quecksilberdampf stets diskontinuirlich.

1) Hittorf, Wied. Ann. 7, 602, 1879.

2) Arons, Wied. Ann. 58, 79, 1896.

Bei Funkenentladung vermag gleichzeitig stattfindende Glimmentladung das Auftreten der Entladungsverzüge nicht zu beeinträchtigen. Ich erkannte dies bei folgender Versuchsanordnung.[1])

Als Entladungsgefäss diente ein elektrisches Ei, bestehend aus zwei mit einer Mischung von Kolophonium und Leinöl aneinander gekitteten tubulirten Luftpumpenrezipienten mit kugelförmigen Elektroden aus Messing von 7 cm Durchmesser. Der Durchmesser des elektrischen Eies betrug 27 cm, die Länge desselben 66 cm, der Abstand der Elektroden 41 cm, der Luftdruck 1,5 mm.

Wurde successive die Spannung der Elektroden bis 900 Volt erhöht, so zeigte sich zunächst keine leuchtende Entladung. Dann aber trat plötzlich Glimmentladung ein, die Spannung sank auf 800 Volt und das Galvanometer zeigte den Durchgang eines Stromes von 14,7 Milliontel Ampère an.

Dieser Strom war nicht stetig, denn ein eingeschaltetes Siemens'sches Telephon liess ein lautes Summen hören, welchem etwa 20 Schwingungen pro Sekunde entsprechen mochten. Ebenso zeigte sich die Lichterscheinung, in einem rotirenden Spiegel betrachtet, aus einzelnen Partialentladungen zusammengesetzt.

Wurde die Stromstärke durch Zuschalten weiterer Akkumulatorenelemente successive auf 50, 82 und 106 Milliontel Ampère erhöht, so stieg entsprechend die Zahl der Partialentladungen pro Sekunde, wie sowohl mittelst des Telephons, wie mittelst des Drehspiegels erkannt werden konnte, und die Spannung sank beziehungsweise auf 620, 530 und 520 Volt, was sich durch die veränderte chemische Beschaffenheit des Gases (Dissoziation) erklären dürfte. Bei immer weiter fortgesetzter Erhöhung der Stromstärke kam plötzlich bei 980 Milliontel Ampère und 350 Volt das Telephon zum Schweigen, und auch im Drehspiegel zeigten sich keine Intermittenzen mehr, obschon die Lichterscheinung äusserlich sich nicht im geringsten geändert hatte — der Strom war also scheinbar kontinuirlich geworden.

Solche kontinuirliche Glimmentladung hatte bereits Faraday (1838) beobachtet und sich vergeblich bemüht, sie in Partialentladungen zu zerlegen. Er glaubte, wie schon oben mitgetheilt, die scheinbare Stetigkeit dadurch erklären zu können, dass die Entladung in äusserst rascher Folge immer wieder an anderen Stellen der Elektrodenoberfläche hervorbricht und so durch den Zusammenschluss dieser Einzelentladungen in den Zuleitungen ein stetiger Strom entsteht, wie in einer Wasserleitung, an welcher bald hier bald dort ein Hahn geöffnet oder wieder geschlossen wird.

Hittorf und Hertz dagegen halten die Stetigkeit der scheinbar kontinuirlichen Entladungen für erwiesen und zwar hauptsächlich aus dem Grunde, weil bei ihren Versuchen Anschaltung eines Kondensators an die Elektroden ohne Einfluss blieb. Diese Beobachtung ist indess, wie ich bei Benutzung stärkerer Ströme und grosser Kondensatoren fand, nicht vollständig zutreffend.

---

1) O. L., Zeitschr. f. Elektrochemie II, 463, 1896.

Wurde bei meinen Versuchen, so lange die Entladung noch nicht scheinbar kontinuirlich geworden war, ein Kondensator mit den Elektroden in Verbindung gebracht, so verminderte sich zunächst ebenso wie bei Hittorf's Versuchen die Zahl der Partialentladungen pro Sekunde entsprechend seiner Kapazität. Beispielsweise reduzirte sich bei Anwendung einer Batterie Leydener Flaschen von der Kapazität 0,01 Mikrofarad bei der Stromstärke 14,7 Milliontel Ampère die Zahl der Partialentladungen auf 3 pro Sekunde.

Auf die scheinbar kontinuirliche Entladung war ebenso in Uebereinstimmung mit den Versuchen von Hittorf und Hertz das Anschalten eines Kondensators zunächst ohne Einfluss. Wurde nun aber die Vergrösserung der Stromstärke noch immer weiter getrieben, so begann sich nach und nach wieder ein Geräusch im Telephon bemerkbar zu machen und auch der Drehspiegel zeigte Intermittenzen, welche dem Auftreten hellleuchtender Pünktchen — Funkenentladung — an beiden Elektroden entsprachen.

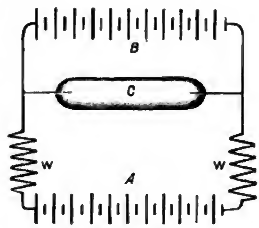


Fig. 253.

Mit dem Auftreten dieser hellen Pünktchen trat der Einfluss des Kondensators von neuem hervor, und zwar zeigte sich derselbe bedingt durch dessen Kapazität. Beim Anwachsen der Stromstärke auf 25 Milliampère bei 520 Volt war selbst bei Anwendung eines Kondensators von etwa 8 Mikrofarad noch kein erheblicher Einfluss zu konstatiren. Ein schwaches Summen desselben lieferte zwar den Beweis, dass sich die Potentialschwankungen auch auf seine Belegungen erstreckten, doch waren diese Schwankungen, am Elektrometer beobachtet, sehr geringfügig, und die Zahl der im Drehspiegel beobachteten Intermittenzen, sowie die Tonhöhe des Telephons waren mit und ohne Kondensator nahezu dieselben.

Wurde nun aber die Stromstärke auf 46 Milliampère bei 700 Volt getrieben, so trat an Stelle der scheinbar stetigen Entladung sehr langsam intermittirende, nämlich es erfolgte nur noch etwa alle Sekunden eine Entladung, deren Licht natürlich sehr viel intensiver war. Bei 170 Milliampère und 920 Volt traten die Stösse in sehr rascher Folge auf, doch sehr unregelmässig. Die Funken waren blendend hell und schön geschichtet. Das Elektrometer zeigte dabei nur geringe Schwankungen. Bei 800 Milliampère wurde plötzlich die Entladung wieder scheinbar kontinuirlich, sie behielt aber die Form der Funkenentladung bei (verwandelte sich in Lichtbogen) und die Spannung sank auf 300 Volt.

Dasselbe Resultat würde man wohl auch bei Anwendung einer zweiten Akkumulatorenbatterie von geringerer Spannung statt des grossen Kondensators erhalten, wie Fig. 253 andeutet. Die Hauptbatterie *A* sendet einen durch die Widerstände *w w* abgeschwächten Strom durch das Vakuumrohr *C* und ladet

zugleich die Nebenbatterie *B*. In bestimmtem Momente wird sich letztere, da sie durch *C* kurz geschlossen ist, in Form eines Funkens oder Lichtbogens durch *C* fast vollständig entladen und dann wird wieder die gewöhnliche Entladung von *A* folgen, bis *B* aufs Neue geladen ist.

Wie man sieht, erklärt sich das spontane Auftreten der Funkenentladungen in erster Linie durch den Mangel eines Widerstandes im Schliessungskreise des Kondensators oder der Batterie *B*. In Folge dessen steigt die Stromstärke so hoch an, dass sich zunächst an einer Stelle einer Elektrode etwas Metalldampf bildet, durch welchen die Entladung viel leichter hindurchgeht als durch die Luft, und nun konzentrirt sich sofort die ganze Strömung auf diesen Punkt, die Menge des Metalldampfes immer mehr vermehrend, so dass die Entladung selbst noch bei sehr geringer Spannung ihren Fortgang nehmen kann. Hört sie aber alsdann auf, so kondensirt sich der Metalldampf wieder und die Spannung muss erst von neuem auf den anfänglich hohen Werth anwachsen, bis abermals Entladung eintreten kann. Bei geringer Kapazität des Kondensators oder beim Fehlen eines solchen wird die Metallentladung schon wieder ein Ende nehmen, wenn die Spannung nur sehr wenig unter diejenige der Gasentladung gesunken ist, es erscheinen nur helle Punkte neben der Gasentladung. Bei grosser Kapazität dagegen verschwindet die Gasentladung vollständig und in grossen Intervallen entstehen dicke blendende Funken.

Lässt man die Stromstärke immer weiter wachsen, so genügt schliesslich schon die durch den Strom der Batterie *A* hervorgebrachte Wärme zur Bildung des Metalldampfes, die Entladung wird (scheinbar) kontinuirlich, sie nimmt die Form des Lichtbogens an, und der Kondensator *B* ist nun endgültig ohne Einfluss.

Bei Anwendung eines Kondensators von ca. 0,23 Mikrof. Kapazität waren die Funken nur blass und folgten sich bei geringer Stromstärke in langen Zwischenräumen. Bei der kleinsten Stromstärke traten sie überhaupt nicht auf, sondern nur Glimmentladung, welche stetig erschien.[1])

Bei Verminderung der Kapazität auf die Hälfte (0,125 Mikrof.) bewirkte die Anschaltung des Kondensators eine Aenderung nur bei den grossen Stromstärken und zwar traten neben der scheinbar kontinuirlichen Glimmentladung sehr blasse Funken auf, von welchen im Wesentlichen nur die glänzenden Endpunkte an den Elektroden sichtbar waren.

War die Kapazität des Kondensators nur 0,01 Mikrofarad[2]), so machte sich kein Einfluss der Anschaltung des Kondensators an die Elektroden des elektrischen Eies bemerkbar, selbst nicht bei beträchtlicher Erhöhung der Stromstärke.

Die Spannung blieb auch beim Auftreten der Funkenentladungen durchaus konstant und nur die Entladungen der Kondensatoren von grösserer Kapazität

1) O. L., Wied Ann. **56**, 334, 1895.

2) Ich gebrauchte hierzu eine Batterie von 34 Leydener Flaschen.

bedingten ein mehr oder minder starkes Vibriren der Aluminiumblättchen des Elektroskops. Es konnte somit das zeitweise Auftreten der Funken nicht etwa darauf zurückgeführt werden, dass allmähliche Ladung des Kondensators stattfand und Entladung nach Erreichung einer bestimmten Spannung. Die Ladung vollzog sich vielmehr jeweils nach einer Funkenentladung fast momentan, so dass die Elektroskopblättchen sich während dieser Zeit nicht merklich bewegen konnten. Dass dann eine je nach dem Widerstand der Leitung mehr oder minder lange Zeit verfloss, bis die neue Entladung eintrat, muss eine andere Ursache haben und beweist, dass ein Pulsiren der Entladung möglich ist, selbst wenn die Spannung vollkommen konstant bleibt und das Gas bereits von Glimmentladung durchsetzt ist — ganz wie bei der Elektrisirmaschine ab und zu Funken auftreten können, während von den Konduktoren Büschel ausstrahlen, und zwar in um so schnellerer Folge, je mehr die Wirksamkeit der Maschine gesteigert wird.

Es kann sogar bei diesen Versuchen der Kondensator *B* längere Zeit geladen sein und die Glimmentladung in *C* ruhig ihren Fortgang nehmen und dann doch plötzlich ohne ersichtliche Ursache Funkenentladung in *C* eintreten. Eine Erklärung dürfte wohl kaum anders möglich sein, als derart, dass langsame Veränderungen in den die Kathode oder Anode umgebenden elektrischen Luftschichten hier wie bei den Entladungsverzügen in freier Luft schliesslich die Funkenentladung auslösen.

Löscht man die Entladung durch Erzeugung eines magnetischen Feldes aus, so tritt nach Hertz die Entladung nach Beseitigung des magnetischen Feldes sofort wieder ein, wenn die Spannung unverändert geblieben ist. Bei eigenen ähnlichen Versuchen (l. c.) erhielt ich indess Entladungsverzüge.

Bei einer Röhre von 1 m Länge und 5 cm Weite trat beispielsweise die leuchtende Entladung bei einer Spannungsdifferenz der Elektroden von 1500 Volt ein, worauf die Spannung in Folge des inneren Widerstandes der Batterie und des zugeschalteten Wasserwiderstandes[1]) auf 1100 Volt zurückging. Wurde nun die Entladung magnetisch „ausgeblasen“, so stieg das Elektrometer der elektromotorischen Kraft der Batterie gemäss sofort wieder auf 1500 Volt, das Rohr blieb aber dunkel, ja es konnte durch stetige Erhöhung der Spannung unter Vermeidung von Funkenbildung (durch Verstärkung des Magnetisirungsstromes der stromliefernden Hochspannungsdynamomaschine, welche mit einem Hochspannungsakkumulator in Serie geschaltet war) die Spannung bis zu 3000 Volt, also auf das Doppelte erhöht werden, ohne dass die Entladung von neuem einsetzte.[2])

---

1) Vgl. auch Varley, Proc. Roy. Soc. **19**, 236, 1871. Nach Hittorf ändert sich die Leitungsfähigkeit des Gases.

2) Sie trat aber sofort ein, falls etwa die Spannung durch den Zellenschalter der Akkumulatorenbatterie, wobei kleine Fünkchen entstanden, regulirt wurde oder wenn in der Nähe des Rohres eine Leydener Flasche entladen wurde. Ebenso wurde die Entladung mit Sicherheit durch einen Funken am Kollektor der Maschine eingeleitet, zu-

Wurde das Rohr mit äusseren Belegungen versehen, so trat im Moment des Ausblasens der Entladung eine starke Elektrisirung derselben ein, welche deutlich erkennen liess, dass nach Aufhören der leuchtenden Entladung noch konvektive stattfand, durch welche die Wandungen des Rohres stark geladen wurden. Diese Anhäufung von Elektrizität auf den Rohrwänden ist jedenfalls eine Ursache, welche das Wiedereintreten der Entladung nach Entfernung des magnetischen Feldes hindert.

Durch Leitung der äusseren, nicht absolut trockenen Glasoberfläche werden nach und nach entgegengesetzte Elektrizitätsmengen herangezogen, welche durch die Glaswand hindurch sich mit den inneren angehäuften Elektrizitätsmengen vereinigen, so dass nun aufs Neue Entladung eintreten kann.

Dass nun aber trotz dieser allmählichen Ausgleichung der angehäuften Elektrizitäten der Entladungsverzug unter Umständen stundenlang andauern kann (bei Verwendung einer völlig konstanten Elektrizitätsquelle vielleicht beliebig lang), beweist, dass neben der statischen Ladung der Gefässwände noch eine zweite Ursache vorhanden sein muss, welche den Durchgang des Stromes hindert.

Es folgt dies auch daraus, dass der Entladungsverzug, wenn auch in bedeutend geringerem Maasse, noch bei Anwendung von Wechselstrom mit 100 Polwechseln pro Sekunde zu beobachten ist. In solchem Falle betrug die mittlere Spannungsdifferenz der Elektroden beim Durchgang der leuchtenden Entladung ca. 500 Volt, somit, wie sich aus der Form der Stromwelle der betr. Maschine entnehmen liess, die maximale

$$500 \cdot 5{,}14 = 2570 \text{ Volt.}$$

Beim Auslöschen der Entladung mittelst des Magneten stieg die Spannungsdifferenz auf 520 Volt im Mittel, somit 2673 Volt maximal, und konnte auf dieser Höhe auch nach Verschwinden des elektrischen Feldes längere Zeit erhalten bleiben, bis schliesslich ohne ersichtliche äussere Veranlassung die Entladung wieder einsetzte und damit die maximale Spannung auf 2570 Volt zurückging.

Bei Hochfrequenzströmen konnte ich einen deutlichen Entladungsverzug nicht beobachten, selbst dann nicht, wenn das (eine Elektrode enthaltende) Ende des Rohres zwischen die Pole des Magneten gestellt wurde.

Die Verzögerung der (Kondensator-) Funkenentladung im Vakuum im Magnetfelde untersuchte Warburg.[1])

Nach Erregung des Elektromagneten konnte die Spannung auf 1000 Volt erhöht werden, ohne dafs Entladung eintrat, während sonst 4000 Volt genügten

---

weilen auch entstand sie nach einigen Minuten, auch wohl erst nach einer halben oder ganzen Stunde von selbst ohne bemerkbare Ursache. Da sich Funken am Kollektor der Maschine nicht ganz vermeiden liessen, waren genaue Beobachtungen hierüber nicht möglich. Vgl. weiter unten über den Einfluss vorgeschalteter Funkenstrecken.

1) Warburg, Sitzb. d. Berl. Akad. X, 128, 1897.

(Luftdruck 0,313 mm Hg). Sie trat schliesslich mit Verspätung ein, welche um so grösser war, je geringer die Spannung. Wurde während der Verspätung der Elektromagnet geöffnet, so erfolgte die Entladung sofort.

Wenn die magnetischen Kraftlinien die Strombahn nicht senkrecht durchsetzten, sondern derselben parallel waren, begünstigte das magnetische Feld die Entladung. So wurde z. B. bei einem Druck von 0,0171 mm die Potentialdifferenz der Elektroden von 5400 auf 3000 erniedrigt. Warburg schliesst hieraus, dass sich in der Verzögerungsperiode ein sehr schwacher lichtloser Strom von wachsender Stärke ausbildet, welcher schliesslich in die Funkenentladung übergeht.

54. Störung durch elektrisirte Luft.

A. Einfluss auf die Entladungsform.

Auch der von der Funkenentladung selbst erzeugte elektrische Wind kann dieselbe beeinflussen. So zeigt sich z. B. bei Entladung zwischen Spitzen in mikroskopischem Abstand in der Nähe der negativen Elektrode eine dunklere verbogene Stelle, wie Fig. 16 Taf. II zeigt.

Findet gleichzeitig Streifenentladung statt, so biegt sich, wie dies auch in Luft von gewisser Dichte geschieht, der Funke um das negative Glimmlicht herum (Taf. II Figg. 17 α u. β).[1]

In Folge der Anhäufung von elektrischer Luft in der Nähe der Kathode wird, wie bereits oben S. 164 beschrieben, der Verlauf der Kraftlinien etwa der in Taf. III Fig. 7 skizzirte sein und ein Funken *a* wird nicht zwischen den Spitzen der Elektroden übergehen, sondern von der Spitze der Anode zum Rande des negativen Glimmlichts. Gleiches gilt für den Lichtbogen.

Bei Anwendung von Wechselströmen, speziell von Hochfrequenzströmen bildet sich das negative Glimmlicht abwechselnd an beiden Elektroden aus. Beim Wechsel der Elektrisirung kann sich aber der Schnelligkeit der Wechsel halber die elektrische Luftschicht nicht entfernen, obschon sie von der Elektrode abgestossen wird. Da die positive Entladung nur von der Spitze der Anode ausgeht, wird sie übrigens die Entladung nicht merklich beeinträchtigen, so dass man nun die Funken- und Lichtbogenentladungen auf beiden Elektroden über das negative Glimmlicht übergreifen sieht.

Einige sonderbare, vermuthlich durch elektrische Luftmassen gestörte Entladungsformen, die als Büschel- und Streifenentladung gedeutet werden können und sich durch verschiedene Gestalt der Elektroden erzielen liessen, sind in den Figg. 254—257 dargestellt, von welchen Fig. 254 (Büschelentladung) und Fig. 255 (Streifenentladung) einem Druck von 20 mm entsprechen und Fig. 256

1) O. L., Wied. Ann. **11**, 701, 1880 und **56**, 324, 1895.

(Büschelentladung) und 257 (Streifenentladung) einem Druck von 4 mm. Bei genauer Betrachtung erkennt man daraus den Satz:

„Streifenentladung wird begünstigt durch stumpfe Kathode", „Büschelentladung durch stumpfe Anode".

Bei Anwendung kugelförmiger Elektroden in verhältnissmässig geringem Abstand erhielt ich in einem grösseren elektrischen Ei mit fortschreitender Verdünnung die in den Figg. 258*a*—*f* skizzirten Lichterscheinungen, welche ihre

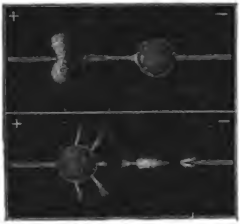


Fig. 254.

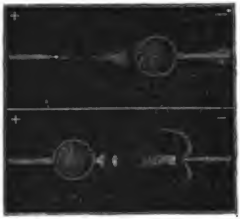


Fig. 255.



Fig. 256.



Fig. 257.

sonderbare Form ebenfalls vorhandenen (sich immer wieder neu bildenden) elektrischen Luftmassen verdanken dürften.

Dass, wie z. B. bei Fig. 258*f*, trotz positiver Elektrisirung der Anode und negativer der sie umgebenden Luft keine Entladung an der Vorderfläche der Anode stattfindet, kann vielleicht durch das geringe Potentialgefälle in der elektrisirten Luftmasse erklärt werden. Je geringer die Dichte des Gases, je grösser also die Weglänge der Moleküle, um so grösser wird auch der Raum werden, welchen die elektrisirte Luft einnimmt, um so mehr wirkt diese als Hinderniss gegen die Entladung und kann selbst auf die Elektroden rückwirkend die Ausgangsstelle der Entladung beträchtlich verschieben.

Da die positive Lufthülle an der Kathode schon vor Bildung des Glimmlichtes vorhanden ist, so lässt sich erwarten, dass sie auch vom Lichtbogen

umgangen wird, wenn das Glimmlicht gar nicht auftritt. Dies zeigt sich in der That zuweilen in sehr auffälliger Weise.

Beispielsweise liess ich den Lichtbogen im Vakuum (4 mm Druck) zwischen einer 8 cm weiten halbkugelförmigen Messingschale und einem nur 1 mm davon entfernten 2 mm dicken Kohlestift, welcher als Anode diente, übergehen. Die Entladung wählte nicht den nur 1 mm langen direkten Weg zwischen beiden Elektroden, sondern den etwa 100 mal grösseren Umweg um die Aussenseite der Schale, wie Taf. IX Fig. 2 zeigt, d. h. es blieben gerade diejenigen Theile der Elektroden frei von Entladung, an welchen nach elektrostatischen Gesetzen das Potentialgefälle am grössten hätte sein sollen.

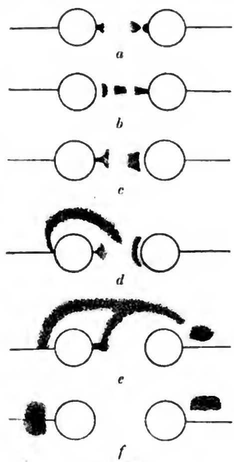


Fig. 258.

Wurde auf die Schale ein ca. 10 cm hoher Kupferblechcylinder aufgesetzt mit einem 10 mm weiten Loch in halber Höhe, so bedeckte sich dieser Cylinder innen und aussen mit blauem Glimmlicht, der Lichtbogen zog sich aber durch die enge Oeffnung hindurch nach einem hellen Punkte an der Aussenseite des Cylinders bis zur Grenze des Glimmlichts.

Bei Anwendung von Hochfrequenzstrom statt Gleichstrom gingen die Funken im Innern der Schale an dem Metall herauf bis zum Rand und an der Aussenseite wieder herunter.

Einen andern auffälligen hierher gehörigen Fall bildet die in Taf. IX Fig. 9 dargestellte Lichtbogenentladung. Bis in die Nähe des gleichzeitig auftretenden negativen Glimmlichts zeigt sich nichts Auffallendes, von hier an aber tritt Spaltung des positiven Lichtes ein und der eine Zweig zieht sich links, der andere rechts zu dem am unteren Ende der Kathode befindlichen Lichtpunkt hin.

Sehr auffallend ist bei den Lichtbogenentladungen das unstete Wandern des hellen Lichtpunktes auf der Kathode, von welchem die Entladung ausgeht, während das andere Ende des Lichtbogens auf der Anode fast völlig ruhig bleibt und sich in der Regel da befindet, wo nach elektrostatischen Gesetzen das grösste Potentialgefälle sein muss.

Als die Funken eines Induktionsapparates zwischen zwei zugespitzten Platindrähten, die sich im mikroskopischen Abstand befanden, übergingen, und ein Widerstand an der negativen Elektrode eingefügt wurde, so traten zahlreiche, oft stark gekrümmte Funken auf, welche ihre Form fortwährend änderten, aber nicht in ihrem ganzen Verlauf, sondern so, dass die positiven Stiele ihre

Lage ungefähr beibehielten, also die Funken häufig am Ende dieser Stiele geknickt erschienen.

Eine eigenthümliche in Luft beobachtete Ausbauchung des Funkenkanals zeigt Fig. 259. Dieselbe wurde zwischen spitzen Elektroden mit Hülfe einer Influenzmaschine mit Leydener Flaschen und zwei gleichen Funkenstrecken an beiden Elektroden bei Ableitung der einen oder andern erhalten.


Fig. 259.

B. Einfluss auf die Schlagweite.

Der störende Einfluss elektrisirter Luft macht sich auch bezüglich der Schlagweite geltend.

Nach Rijke ist die Schlagweite eines Induktionsstroms im magnetischen Felde oder in stark bewegter Luft bedeutend grösser als unter normalen Verhältnissen.[1])

Bei ebenen Elektroden, für welche nach dem früher Gesagten eine einfache Beziehung zwischen Abstand (Schlagweite) und Entladungspotential zu erwarten ist, kann eine solche nach W. Thomson nicht aufgefunden werden, vielmehr wächst die Schlagweite langsamer als die Elektrodenspannung.

Nach Baille[2]) kann man zu bestimmten Werthen des Entladungspotentials überhaupt nur gelangen, wenn den Elektroden die Elektrizität sehr langsam zugeführt wird.

Nach Herwig (1876) ist auch die Temperatur der Elektroden von grossem Einfluss. Es gehen bei der Funkenentladung grössere Elektrizitätsmengen über, wenn die negative, als wenn die positive Elektrode glüht, in beiden Fällen aber erscheint die entladene Elektrizitätsmenge grösser als ohne Erwärmung.

Hittorf (1883) konnte dadurch, dass er eine Elektrode stark erhitzte, halbe Funken erhalten, d. h. Entladungen, die an der kalten Elektrode das Aussehen von Funken hatten, an der heissen dagegen völlig lichtlos, konvektiv verliefen, analog wie man in leitenden Flüssigkeiten Funken erhalten kann, die büschelartig in der Flüssigkeit enden, woselbst dann die Entladung in elektrolytische Leitung übergeht. (Vgl. S. 116 Fig. 101 III.)

Bei ähnlichen eigenen Versuchen benutzte ich als positive Elektrode ein grosses, mit glühenden Holzkohlen gefülltes Kohlenbecken, als negative eine kleine Messingkugel. Trotz kräftigster Wirkung einer Hochdruckinfluenzmaschine kam es nicht mehr zur Bildung von Funken, vielmehr wurde die ganze erzeugte Elektrizitätsmenge durch Glimmentladung entladen unter Bildung eines heftigen von der Kathode ausgehenden elektrischen Windes, welcher das Kohlenfeuer, ähnlich wie Gebläsewind, lebhaft anfachte. Beim Wechsel der Pole wurden dagegen gewöhnliche, nur verhältnissmässig sehr lange, blitzartige Funken erhalten, welche von der Messingkugel durch das Feuer auf die Kohlen überschlugen.

---

1) Rijke, Pogg. Ann. 117, 276, 1862.

2) Baille, Ann. Chim. Phys. (5) **25**, 486, 1882 und **29**, 181, 1883.

Nach Wesendonck[1]) treten bei glühender negativer Elektrode Funken bei der Entfernung 6,8 auf, während bei der kalten Kathode sich solche nicht zeigten. Letztere hatten dagegen bei der Entfernung 2,8 in Bezug auf Funkenbildung bei weitem die Oberhand.

Bei Versuchen von Cardani (1888) über den Einfluss der Temperatur ergab sich, dass dieser Einfluss innerhalb der Versuchsgrenzen (bis 25°) sehr gering war, denn die mittelst des Elektrometers gemessene Potentialdifferenz zwischen zwei Kugeln, zwischen welchen die Entladungen einer Holtz'schen Maschine übergingen, blieb fast konstant; dagegen musste, um Funken zu erhalten, die Maschine immer rascher gedreht werden und bei den höchsten Temperaturen war es nur noch schwer möglich, die zur Entladung nöthige Spannung zu erreichen. Während also die Funkenentladung durch die Temperatur nicht wesentlich beeinflusst wurde, nahm die Ausströmung in Form von Glimmentladung sehr rasch mit derselben zu.

Macfarlane und Rintoul[2]) beobachteten zuerst die störende Wirkung einer Flamme auf Funkenentladungen.

Nach Garbasso[3]) erhöhen die Verbrennungsgase einer Flamme, welche einer Funkenstrecke durch ein Rohr zugeleitet werden, die Schlagweite, auch wenn sie keine hohe Temperatur haben, vorausgesetzt, dass sie die (kugelförmige) negative Elektrode treffen. Geht die Entladung zwischen Spitzen über, so verhindert eine Flamme unter der positiven Spitze die Funkenbildung. Dieses Verhalten ist ähnlich demjenigen bei Anwendung von ultravioletten Strahlen und Röntgen-Strahlen.[4])

Nach Wesendonck[5]) wird das Auftreten von Funken durch vorangehende Büschelentladungen wesentlich begünstigt. Während bei Abwesenheit solcher Büschelentladungen sich keine polaren Verschiedenheiten bezüglich des „Funkenpotentials“, d. h. der Potentialdifferenz, welche zur Erzeugung von Funken (nicht Büscheln) nöthig ist, zeigen, erweist sich, wie bereits Faraday (1838) fand, die Schlagweite grösser zwischen einer kleinen positiven und grossen negativen Kugel als im umgekehrten Falle, weil die negativen Büschel leichter entstehen als die positiven. Gleiches gilt für eine positive Spitze und negative Platte, insofern bei negativer Spitze zuviel Elektrizität ausströmt, als dass das Funkenpotential erreicht werden könnte.

Aehnliches beobachteten auch Gaugain (1866), Macfarlane (1879 und 1880) und Belli (1838).

Nach Warren de la Rue und H. Müller (1877) ist die Schlagweite einer grossen Batterie (5000—8000 Chlorsilberelemente) grösser, wenn die

1) Wesendonck, Wied. Ann. **30**, 14, 1887.

2) Macfarlane und Rintoul, Proc. Edinb. Roy. Soc. 1882, 567, Beibl. **7**, 53, 1883.

3) Garbasso, Nuov. Cim. (4) **4**, 24, 1896.

4) Ueber eigenthümliche Wirkungen der Annäherung einer kleinen Flamme auf die Bildung von Funken siehe auch Mebius, Beibl. **14**, 204, 1890.

5) Wesendonck, Wied. Ann. **30**, 1 und **31**, 319, 1887.

Spitze positiv, die Platte negativ ist. Gerade umgekehrt verhält es sich bei schwächeren Batterien (1000—3000 Elemente).

C. Ventilwirkungen.

Gaugain (1855) stellte dadurch, dass er die eine Elektrode bis auf eine kleine Stelle mit Wachs umgab, während die andere kugelförmige Elektrode unbedeckt blieb, ein „Ventilei" her. Die Induktionsströme gehen vorzugsweise in der Richtung von der bedeckten zu der unbedeckten Kugel durch.[1])

Ist die kleine Elektrode positiv, so bildet die Entladung einen schmalen Lichtstreifen ohne dunkeln Raum, im umgekehrten Falle entsteht ein grosser dunkler Raum und eine breite Lichtmasse. Bei Verzweigung des Stromes durch zwei entgegengesetzt liegende Ventilröhren geht er nur durch die, welche die Scheibe als Anode enthält.

v. Bezold[2]) konstruirte ein Gaugain'sches Ventil aus passend geformten Stanniolblättchen, welche auf eine Ebonitplatte aufgeklebt wurden.

G. Wiedemann und Rühlmann liessen die Entladung bei 200 mm Druck zwischen zwei Platinkugeln von 3,4 mm Durchmesser in 17 mm Abstand überschlagen. Wurde die positive Elektrode abgeleitet, also ihre elektrische Dichtigkeit vermindert, so verschwanden an ihr die Metallentladungen; an der negativen waren solche nicht vorhanden und entstanden auch nicht trotz des nunmehr erforderlichen grösseren Entladungspotentials, wurde dagegen die Kathode abgeleitet, so wurden die Metallbüschel an der Anode noch verstärkt, es entstand ein hellleuchtender Funkenstrom zwischen den Elektroden.

Masson[3]) fand:

„Wird der negative Pol einer funkenerzeugenden Maschine mit dem Erdboden verbunden, während der positive isolirt ist, so ist die Lichtintensität doppelt so gross wie im umgekehrten Falle. Die Elektrizitätsmengen, welche in beiden Fällen zur Entladung kommen, verhalten sich wie $\sqrt{2}:1$.

Nach Teall[4]) geht bei gegebener Spannung die Entladung durch eine hoch evakuirte Röhre mit einer plattenförmigen und einer spitzen Elektrode nur hindurch, wenn die Spitze positiv, die Platte negativ elektrisch ist.

Nach Macfarlane und Rintoul (1882) ist die zur Entladung einer Metallplatte gegen die Flamme eines Bunsen'schen Brenners nöthige Potentialdifferenz geringer, wenn die Platte positiv, somit der Brenner negative Elektrode ist.

Wird nach Luggin (1887) als positive Elektrode ein Kohlenstift, als negative eine rotirende Kohlenscheibe verwendet, so erlischt der Lichtbogen schon bei stärkeren Strömen als bei umgekehrter Zuleitung der Elektrizität.

---

1) Aehnliche Apparate konstruirten auch Riess (1855) und Poggendorff (1867).

2) v. Bezold, Wied. Ann. **11**, 793, 1880.

3) Masson, Compt. rend. **30**, 627, 1850, ausführlich Ann. de chim. et de phys. **30**, 1850. Vgl. auch Wesendonck, Extrabeilage zur Naturwissenschaftl. Rundschau, 1887, Nr. 37.

4) Teall, Beibl. **3**, 526, 1879.

Da nun der Bogen nur durch die heisse Elektrode, also die stiftförmige, unterhalten werden kann, so ist daraus zu schliessen, dass derselbe von der negativen Elektrode seinen Ausgang nimmt.

Nach E. L. Nichols[1]) kann man aus einer Spitze und Kugel ein Ventil für den Wechselstromlichtbogen bilden. Bei bestimmtem Abstand geht der Strom nur durch, wenn die Spitze negativ ist.

Bei meinen Versuchen über die Bildung des Lichtbogens in grossen evakuirten Rezipienten[2]) wirkte die in Taf. IX Fig. 6 dargestellte Vorrichtung beim Durchgang von Wechselströmen ebenfalls als Ventil, indem sie nur denjenigen Strömen den Durchgang gestattete, für welche die Schale negativ war. Vermuthlich verursachte die positive Luftschicht, welche nicht rasch genug abgestossen werden konnte, eine solche Abflachung des Potentialgefälles, dass der Entladungsgradient an der Schale nicht mehr erreicht wurde, falls diese positiv elektrisch war.

D. Ausblasen von Funken.

Nach Wesendonck[3]) kann man Funken unter günstigen Umständen geradezu ausblasen oder sonst doch ihre Häufigkeit reduziren.

Gleiches habe ich selbst beobachtet[4]) bei Anwendung eines kräftigen Luftstroms, wie er aus einem grossen mit 5—8 Atm. Druck gefüllten Windkessel ausströmte, wenigstens bei möglichst langen, nahezu der möglichen Schlagweite entsprechenden Funken. Wurde der Luftstrahl dicht an der Oberfläche der positiven Elektrode[5]) vorbeigeleitet, so wurde der Funkenstrom sofort unterbrochen und erst im Momente, in welchem der Luftstrom abgestellt wurde, trat er von neuem auf. Während der Dauer des Luftstromes konnte man sogar die Elektroden einander erheblich nähern, ohne dass Funkenbildung eintrat. Der Uebergang der Elektrizität erfolgte dann ausschliesslich durch Büschel- oder Streifenentladung. Im ganzen übrigen Verlaufe, insbesondere auch in der Nähe der Kathode, zeigten sich die Funken ganz unempfindlich gegen den Luftstrom, man konnte nicht einmal eine Ausbiegung der Bahn wahrnehmen. Die Empfindlichkeit der Funken an der Anode dürfte wohl auf eine der Funkenbildung vorhergehende nicht wahrnehmbare Glimm- oder Büschelentladung zurückzuführen sein, welche durch den Luftstrom so sehr begünstigt wird, dass die erforderliche Spannung nicht mehr erreicht wird.

Dass jede Funkenentladung in der That von einem elektrischen Wind begleitet ist, scheint auch aus einer Beobachtung von R. v. Helmholtz[6]) hervor-

---

1) E. L. Nichols, Sill. Journ. **41**, 1, 1891.
2) O. L., Wied. Ann. **56**, 325, 1895.
3) Wesendonck, Wied. Ann. **40**, 485, 1890.
4) O. L., Wied. Ann. **44**, 647, 1891.
5) Auch nach Chattock (Rep. Brit. Assoc. Edinburg 1892, 72) haben bei Funkenentladungen störende Einflüsse an der Anode weit grösseren Einfluss als an der Kathode.
6) R. v. Helmholtz, Wied. Ann. **32**, 3, 1887.

zugehen, welcher zufolge jeder einem elektrischen Konduktor abgezogene Funken auf einen in der Nähe befindlichen Dampfstrahl ebenso wirkt, wie der elektrische Wind, d. h. ein plötzliches durch Nebelbildung veranlasstes Aufflammen desselben bewirkt.

Wurden die Konduktoren der Influenzmaschine mit grösseren Leydener Flaschen verbunden, so gelang das Ausblasen der Funken erheblich weniger gut und bei genügender Kapazität gar nicht mehr.

Zur Untersuchung des Einflusses der Temperatur leitete ich den Luftstrom durch ein glühendes, etwa 4 m langes Eisenrohr, wodurch er genügend Wärme aufnahm, um einen entgegengehaltenen Holzspan zu verkohlen. Die Wirkung war dieselbe. Bei Anwendung einer positiven Kugel und einer negativen Spitze wurde die Funkenentladung ausgelöscht und es trat Glimmentladung ein, indem sich die Kugel auf der von dem Luftstrahl getroffenen Stelle mit dichtem Glimmlicht bedeckte, während die negative Spitze einen kleinen Lichtpinsel aussandte. Beim Zusammenschieben der Elektroden vereinigte sich letzterer mit dem Glimmlicht auf der positiven Kugel zu einer zusammenhängenden Lichtmasse, welche mit breiter Basis auf der Anode ruhte, mit kleiner auf der Kathode und sehr viel Aehnlichkeit mit der Lichtmasse zeigte, welche die Kohlenspitzen einer elektrischen Lampe verbindet, wenn dieselben weit auseinander gezogen werden. (Vgl. auch Taf. II, Fig. 7β.)

Bei Umkehrung der Pole gelang der Versuch nicht, vielmehr traten auch bei geringer Distanz Funken auf, welche nur durch den Luftstrom in viele einzelne Fäden aufgelöst wurden.


Fig. 260.

Bei Anwendung kalter statt heisser Luft bogen sich die Funken um den Luftstrahl herum.[1])

Bläst man seitlich gegen die bei mikroskopisch kleinem Elektrodenabstand sich bildenden Funken, so entsteht eine kleine Ausbiegung, welche aber an den einzelnen Theilen des Funkens verschieden gross ist, nämlich um so beträchtlicher, je näher sich dieselbe bei der positiven Elektrode befindet. Der kurze von dieser ausgehende Stiel wird nicht abgelenkt.

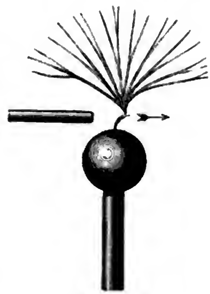
Durch einen Leuchtgasstrom wird die Ausbiegung beträchtlich grösser. Trifft der Leuchtgasstrom den Funken an der Stelle, wo die negative Intermittenz (neutrale Stelle, vgl. S. 233) entstehen würde, so wird derselbe dort ganz unterbrochen und besteht nun aus zwei getrennten Theilen, einem grösseren an der positiven und einem kleineren an der negativen Elektrode (Taf. II Fig. 10 α, β, γ). Selbstverständlich zeigt der durch das Leuchtgas schlagende Theil des Funkens eine andere Färbung, entweder grünlich oder röthlich.

Lässt man seitlich einen Gasstrom gegen einen in Leuchtgas übergehenden Funken eintreten, so wird derselbe abgelenkt und bricht da auseinander, wo sich seine beiden Theile vereinigen (Fig. 260).[2])

1) O. L., Wied. Ann. **44**, 648, 1891.
2) O. L., Wied. Ann. **11**, 702, 1880.

Bläst man an verschiedenen Stellen senkrecht zur Achse eines Büschels, so wird diejenige, wo Aeste und Stiel zusammentreffen, am meisten abgelenkt[1]) (Fig. 261). Vermuthlich ist sie die heisseste, denn die Ablenkung der Entladung durch Luftströme beruht, wie aus den bekannten Experimenten über Induktionsfunken hervorgeht, darauf, dass die Entladung am leichtesten durch die in Folge der vorhergehenden Entladung erwärmte, nun aber etwas verschobene Luftmasse hindurchgeht.

An einer sehr spitzen Anode schrumpft der positive Büschel auf eine kleine Lichtfahne zusammen. Diese kleine Lichtfahne ist gegen Blasen so empfindlich, dass sie sich schon beim leisesten Luftzug dreht. Ueberhaupt ist der Einfluss eines Luftstroms auf einen Büschel um so grösser, je kleiner seine Dimensionen sind.


Fig. 261.

Die Streifenentladung wird durch Blasen namentlich bei geringer Elektrodenentfernung ziemlich leicht abgelenkt.

Um den Einfluss sehr starker Luftströme auf sehr grosse Büschelentladungen zu prüfen, wandte ich die grosse Hochdruckinfluenzmaschine und einen bis zu 5—8 Atm. Druck gefüllten Windkessel an. Als Anode diente eine Nähnadel, als Kathode eine grosse mit Seide überzogene Holzscheibe.

Die beobachteten Erscheinungen lassen sich dahin zusammenfassen, dass der Luftstrahl gewissermaassen ein Loch durch den Büschel bohrt, oder dass sich die Aeste des Büschels um den Luftstrahl herumbiegen. Es erscheint dies dadurch erklärlich, dass bei den angewandten hohen Drucken der Strahl aus verdichteter Luft besteht, für welche das Entladungspotentialgefälle ein grösseres ist. Trifft der Strahl auf die Anode, so wird hinter derselben durch die bekannte (z. B. beim Zerstäuber benutzte) Saugwirkung ein gewisser Grad von Verdünnung erzeugt, welcher die Entladung begünstigt. Hierdurch entstanden Formen, welche zuweilen an die sonderbaren Lichtgebilde im Innern stark evakuirter Geissler'scher Röhren erinnerten.[2])

Nach Wesendonck[3]) wird beim Blasen auf den Büschel „dessen Stiel kürzer, eine etwaige Fortsetzung desselben in den verästelten Theil hinein löst sich auf und eben dieser verästelte Theil wird breiter, indem die Aeste stärker divergiren“. Haben die Büschel Neigung in Glimmen überzugehen, so kann man diesen Uebergang sicher bewirken, indem man auf den Büschel bläst....

1) O. L., Molekularphysik II, 326, 1889 und Wied. Ann. **11**, 692, 1880.
2) O. L., Wied. Ann. **44**, 648, 1891.
3) Wesendonck, Wied. Ann. **40**, 484, 1890.

Bei grossen negativen Büscheln zwischen einer Kugel von 23,5 mm Durchmesser und einer abgeleiteten Platte sind die Veränderungen beim Blasen gegen die Kathode sehr deutlich, das helle, lange, stielförmige Gebilde, das man bei einem solchen Büschel wahrnimmt, wird kürzer und nebelhafter, ja verschwindet fast ganz, so dass die Krone direkt dem negativen Glimmlicht an der Kathode aufzusitzen scheint. Der verzweigte Theil (Krone) dagegen verbreitet sich erheblich, das Ganze wird zugleich kürzer, etwa sich einstellende Funken verschwinden.

Fernet giebt folgendes Experiment an. Lässt man von zwei vertikal nach unten gerichteten Platindrähten Funken auf eine Wasserfläche überspringen und bläst auf den negativen Funken, so wird dieser alsbald geradlinig, bläst man aber auf den positiven, so zerstreut er sich. Auch diese Erscheinung erklärt sich vermuthlich durch die Ablenkung der die Richtung der Funkenentladung mitbestimmenden elektrisirten Lufttheilchen.

E. Einfluss von elektrischem Wind.

Nach Righi[1] rühren elektrostatische Wirkungen auf den Funken daher, dass der dem Funken vorhergehende elektrische Wind eine Ablenkung erfährt.



Fig. 262.



Fig. 263.



Fig. 264.



Fig. 265.

Streifenentladung in freier Luft wird bei geringer Elektrodendistanz bei gleichzeitiger (d. h. rasch damit alternirender) Ausbildung eines negativen Lichtpinsels durch den hervorgebrachten elektrischen Wind zur Seite getrieben (Fig. 262). Ebenso auch wohl ein Lichtpinsel, welcher sich auf einer seitlich genäherten Spitze ausbildet. Ist diese Spitze näher bei der negativen Elektrode, so verzweigt sich die Entladung (Figg. 263—265), wobei der Zweig um so mehr gegen die Hauptbahn geneigt ist, je weiter man die Spitze von der negativen Elektrode entfernt. Die Vereinigungsstelle ist häufig etwas heller, doch scheint der Zweig vom Hauptstreifen durch eine etwas dunklere Schicht getrennt zu sein.

Wird einem Funken in freier Luft seitlich eine Spitze genähert, so geht der negative Stiel direkt gegen die Spitze, während die Hauptentladung in diesen Stiel einmündet, so dass eine Einbiegung gegen die Spitze zu entsteht Auch die Funkenstiele der positiven Elektrode zeigen zuweilen ein ähnliches Verhalten.[2]

Righi (1881) beobachtete, dass, wenn zwischen einer Kugel und einer Platte Funken übergehen und eine zweite kugelförmige Elektrode, welche mit

1) Righi, Beibl. **6**, 39, 1882.
2) O. L., Wied. Ann. **11**. 699, 1880.

der ersten in Verbindung steht, dem Funken genähert wird, von ihr ein Funke nicht direkt zur Platte, sondern auf den anderen Funken überschlägt.

Werden mehrere Elektroden an verschiedenen Stellen eines Vakuumrohres eingesetzt, so erscheint die Entladung zwischen zwei benachbarten, zuweilen alternirend zwischen verschiedenen Paaren, z. B. bei der Anordnung Fig. 266 bald rechts, bald links. (Als Elektroden dienten dabei seitlich eingesetzte Ringe.[1])



Fig. 266.

F. Erscheinungen bei Wechselstrom.

Eine eigenartige Wirkung bringt die elektrisirte Luft bei Anwendung von Wechselstrom hervor, indem die Bildung der positiven Glimm- und Büschelentladung vermuthlich durch die von der vorangehenden negativen Entladung nicht völlig neutralisirte positive Luftschicht in der Nähe der Elektrode verhindert wird.

Bereits Magnus hatte gefunden, dass bei sog. rekurrirenden Strömen in einer nur eine Elektrode enthaltenden Vakuumflasche an der Elektrode sich stets negatives Glimmlicht zeigt, mochte sie an den positiven oder negativen Pol des Induktoriums angeschlossen sein.

Wesendonck[2]) ist der Ansicht, dass diese Erscheinung nicht durch Entladungen des Schliessungsstroms erklärt werden kann und auch nicht in einem Zurückströmen der positiven Elektrizität in dem Zwischenraum zwischen zwei Entladungen ihren Grund haben kann, da im Drehspiegel keine Trennung des positiven Lichtes vom negativen beobachtet werden konnte. (Negative Büschel.)

Letzteres trifft indess nicht zu, da das beobachtete positive Licht nichts anderes ist als der zu dem negativen Glimmlicht gehörige negative Büschel. Das der folgenden positiven Entladung zugehörige Licht ist überhaupt nicht sichtbar, oder die Entladung findet nicht statt.

Dieselbe Erscheinung beobachteten in hochverdünnter Luft bei Anwendung sehr schneller elektrischer Schwingungen in beiderseits mit planparallelen Platten verschlossenen Gefässen H. Ebert und E. Wiedemann.[3])

Die typische Lichterscheinung in einem kurzen an den Enden mit planparallelen Platten verschlossenen Gefässe war die in Taf. X Fig. 4 dargestellte, welche man sich aus den zeitlich nach einander erfolgenden entgegengesetzten Entladungen Figg. 3 u. 5 zusammengesetzt denken muss. Von dem zu dem Glimmlicht gehörigen positiven Licht ist somit nur der an den dunkeln Trennungsraum unmittelbar angrenzende Theil, d. h. das negative Büschellicht, sichtbar.

1) O. L., Wied. Ann. **22**, 320, 1884.
2) Wesendonck, Wied. Ann. **41**, 470, 1890.
3) H. Ebert und E. Wiedemann, Wied. Ann. **49**, 33, 1893.

In einem mässig evakuirten grossen elektrischen Ei beobachtete ich selbst[1]) die Erscheinung bei Anwendung eines mit Wechselstrom gespeisten Funkeninduktors. Es entstanden beiderseits negative Büschel, bestehend aus blauem Glimmlicht und einem durch den dunkeln Trennungsraum davon geschiedenen kurzen rothen Büschel. Scheinbar bildeten die beiden rothen Büschel eine einzige Lichtmasse, Taf. IX Fig. 5, bei Annäherung eines Magneten trennten sie sich aber und wandten sich nach entgegengesetzten Richtungen. Positives Glimmlicht und Büschellicht fehlten vollständig,[2]) Taf. IX Fig. 6.

Auch die aus zwei nahestehenden Platten zusammengesetzte Entladungsvorrichtung, welche oben S. 330 besprochen wurde, zeigte die Erscheinung.

An beiden Platten erschien der röthliche Saum und das durch den dunkeln Raum davon getrennte bläuliche Glimmlicht, positives Licht dagegen fehlte (Fig. 267).

Wurde in eine 1 cm lange, 5 cm weite cylindrische Geissler'sche Röhre Hochfrequenzstrom[3]) eingeleitet, so erschienen bei passender Spannung die Elektroden von einem blassen Lichtnebel eingehüllt, dessen Dicke mit steigender Spannung zunahm, so dass allmählich kegelförmige, die Spitzen einander zukehrende Lichtmassen entstanden (Taf. IX Fig. 8), welche sich immer mehr und mehr verlängerten, bis schliesslich eine zusammenhängende Lichtmasse das Rohr erfüllte. Durch Einschalten von Wasserwiderständen vor die eine Elektrode konnte man bewirken, dass an dieser die Ausdehnung des Lichtnebels geringer wurde oder dass er ganz verschwand, wie wenn die Verbindung ganz unterbrochen worden wäre. Der andere Lichtnebel blieb dabei unverändert, ein deutlicher Beweis dafür, dass es sich um Entladungen zwischen Elektroden und Rohrwandung handelte.

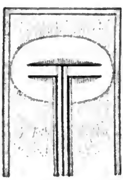


Fig. 267.

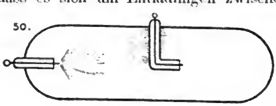


Fig. 268.

Wurde durch das S. 328 beschriebene Hittorf'sche Rohr Hochfrequenzstrom geleitet, wie er durch oscillatorische Flaschenentladung erhalten wird, so trat an der Spitze der Kathode überhaupt kein Licht auf, sondern nur an der die Kathode umhüllenden Glaskapillare (Fig. 268), wenigstens solange die Stromstärke unter einer gewissen Grenze blieb. Wurde sie grösser, so traten auch an der Spitze Kathodenstrahlen auf.

1) O. L., Elektrizität und Licht, S. 288, 1895.

2) Vgl. auch Warburg, Wied. Ann. **54**, 730, 1895.

3) Zur Erzeugung der Hochfrequenzströme dienten zwei grosse Leydener Flaschen von je ca. 0,01 Mikrofarad Kapazität, deren äussere Belege durch eine kreisförmige Drahtwindung von 0,76 m Durchmesser verbunden waren. Dieser Windung wurde eine Rolle von zehn Windungen von gleichem Durchmesser, welche mit den Elektroden der Röhre verbunden war und als Sekundärspule diente, auf etwa 50—30 cm Abstand genähert.

Aus diesem Versuch lässt sich schliessen, dass durch die dicke Glaswand der Kapillare hindurch die Kraftlinien in grösserer Dichte in das Gas eindringen, als unmittelbar von dem spitzen Ende der Kathode. Man ersieht auch, dass die jedenfalls sehr geringe, durch Influenz auf der Glaskapillare angesammelte Elektrizitätsmenge ausreichend ist, bei genügend hoher Frequenz wahrnehmbares Leuchten hervorzubringen, dass es dazu keiner weiter fortgesetzten Strömung in der Elektrode und deren Zuleitungen bedarf.

---

55. Einwirkung elektrisirter fester Körper.

Ebenso oder noch intensiver als elektrisirte Luft können natürlich elektrisirte feste Körper auf Funken einwirken, wenigstens mittelbar, indem sie die begleitende Glimm- oder Büschelentladung beeinflussen.

So fand bereits Poggendorff[1]), dass in engen Thermometerröhren die Schlagweite kleiner ist als in freier Luft. „Ja als selbst nur eine Glasplatte den Elektroden seitwärts fast bis zur Berührung genähert wurde, zeigte sich die Schlagweite gegen die in ganz freier Luft fast um einen halben Zoll verringert.“ Es genügte auch, auf die Elektroden kurze Glasröhrenstücke aufzuschieben. Belegt man die Röhren aussen mit einem Stanniolstreif, so wird die Wirkung nicht nur aufgehoben, sondern die Schlagweite erscheint vergrössert.

Die Ursache der Verminderung der Schlagweite durch die Glasröhren sieht Poggendorff mit Recht in der Rückwirkung der auf dem Glase angesammelten Elektrizität auf die Elektroden. Die äussere Stanniolbelegung bindet diese Elektrizität und verhindert so die störende Wirkung.

Bei engeren Röhren schlugen zuweilen die Funken durch das Glas und setzten an der Aussenseite in geschlängelter Bahn ihren Weg zur andern Elektrode fort.[2])

Ein hölzerner Trichter zwischen die Elektroden der Influenzmaschine gesetzt, lässt nach Holtz[3]), falls die Trichterspitze an die negative Elektrode gelegt wird, Schlagweiten bis 180 mm zu, während keine oder kaum 30 mm lange Funken entstehen, wenn die Trichterspitze an die positive Elektrode gelegt wird.

Ueber den Einfluss von Seidenüberzügen, welche offenbar der Funkenentladung vorhergehende Büschelentladungen hindern, schreibt Holtz:

„Es ist bekannt, dass man sehr grosse Unterschiede in der Funkenlänge erhält, je nachdem bei ungleichen Elektroden die positive oder die negative die grössere ist. So erhielt ich bei meiner Influenzmaschine, wenn ich einen

1) Poggendorff, Pogg. Ann. **126**, 60, 1865.
2) Siehe auch Schott, Elektrisches Kapillarlicht, Wied. Ann. **59**, 768, 1896.
3) Holtz, Pogg. Ann. Ergbd. **8**, 168, 1876.

Kegel von 60° einer Kugel von 24 mm Durchmesser gegenüberstellte, in einem Falle 5, im andern 15 mm lange Funken. Ganz anders aber stellte sich die Sache, als ich die Kegelelektrode mit einer mehrfachen Lage von Seidenzeug umgab. Ich erhielt nun in beiden Fällen 110 mm lange Funken, gleichviel ob der Kegel oder die Kugel die positive Elektrode war."

Aehnlich wie Seidenüberzüge mögen auch zuweilen Oxydschichten wirken. So erklärt sich vielleicht, dass sich nach Warren de la Rue und H. Müller[1]) die Schlagweite bei Anwendung von Aluminiumelektroden im Verhältniss von 1,242 : 1 vergrössert, während sie sonst von der Natur der Elektroden unabhängig ist.

Entfernt man die Elektroden einer Influenzmaschine so weit, dass keine Funken mehr überspringen, so kann man dieselben durch Anlegen eines Ebonit- oder Glasstäbchens an die positive Elektrode wieder hervorrufen. Ebenso kann man sie, selbst aus einer Spitze, durch plötzliches Annähern der Hand gewissermaassen herausschlagen.[2]) Die Anwendung des Ebonitstäbchens empfiehlt sich bei kleineren Influenzmaschinen namentlich, um auch bei angeschalteten Leydener Flaschen lange Funken zu erzielen.

Eccher (1885) empfiehlt, um lange Funken zu erhalten, für eine Voss'sche Influenzmaschine mit einer 40 cm grossen rotirenden Scheibe als Elektroden eine Metallscheibe von 10 cm Durchmesser und 20 mm Dicke, mit abgerundeten Rändern, auf welche in der Mitte eine Ebonitplatte von 6 cm Durchmesser aufgekittet wird.[3])

Wird ein glimmender Stab befettet, so verwandelt sich das Glimmen in Büschelentladung, weil nun ein grösseres Entladungsgefälle nöthig ist, demnach die Fettschicht durchbrochen werden muss.

Wesendonck[4]) vermochte Glimm- in Büschelentladung überzuführen, indem er vor die glimmende Spitze ein Kartonblatt mit einer 1—2 cm weiten Oeffnung brachte.

W. Holtz[5]) untersuchte auch, welche Veränderungen die Büschelentladung beim Ueberziehen der Elektroden mit Seidenzeug erfährt. „Nur ausnahmsweise konnte jetzt noch der positive Büschel mit einem einzigen längeren Stiele erhalten werden. Für gewöhnlich brachen aus der vorderen Hälfte der Kugel unzählige kleinere Büschel hervor. Eine ähnliche Erscheinung habe ich übrigens auch ohne jene Umkleidung dadurch erhalten, dass ich die positive Elektrode behauchte, oder auf andere Weise mit einer dünnen Feuchtigkeitsschicht umgab. Aber auch der negative Büschel lässt sich dem gewöhnlichen langgestielten positiven Büschel mehr oder weniger ähnlich machen,

---

1) Warren de la Rue und H. Müller, C. R. **85**, 791, 1877.

2) Poggendorff, Pogg. Ann. **139**, 341, 1870.

3) Eccher, N. Cim. (3) **17**, 135, 1885.

4) Wesendonck, Wied. Ann. **30**, 10, 1887.

5) W. Holtz, Wied. Ann. **11**, 514, 1880. Vgl. ferner Pflaum (in Riga), phys. Kleinigkeiten 1897. (Tafeln auf photographischen Platten gleitender Funken.)

wenn man die negative Elektrode mit der gedachten Umhüllung versieht, und dies um so mehr, je dicker dieselbe ist, und um so mehr auch, je grösser überhaupt beide Elektroden sind. Der negative Büschel bleibt freilich immer viel kürzer und ärmer an Verästelungen, als es der positive Büschel ist, aber er gewinnt doch, was er sonst nie besitzt, einen einzigen längeren Stiel, an welchem in verschiedenen Punkten seitliche Aeste angesetzt sind."

Vermuthlich ist die Ursache dieser Erscheinungen dieselbe wie die Wirkung von Verengungen in Geissler'schen Röhren. Die Entladung geht von der Elektrode zunächst nur bis zum Seidenzeug und von hier weiter. Jede Oeffnung wird so zum Ausgangspunkt einer neuen Entladung.

Cavallo berichtet über den Einfluss elektrischer Körper auf Büschelentladungen:[1] „Man befestige einen zugespitzten Draht auf den ersten Leiter (Konduktor der Elektrisirmaschine), dass er die Spitze auswärts kehre, und einen ähnlichen Draht an das isolirte Kissen; dann lasse man das Rad der Maschine drehen, so wird man die Spitzen beider Drähte, den ersten mit einem Strahlenkegel, den letzteren mit einem Punkte erleuchtet sehen. Hierauf nehme man eine geriebene Glasröhre und bringe sie seitwärts an die Spitze des Drahtes, der sich auf dem ersten Leiter befindet, so wird man sehen, dass sich der daraus strömende Strahlenbüschel seitwärts kehrt, d. i. von der Atmosphäre der Röhre zurückgestossen wird, und wenn man die geriebene Röhre der Spitze gerade entgegenhält, so wird der Strahlenbüschel gänzlich verschwinden, weil die Röhre und die Spitze beide positiv elektrisirt sind. Bringt man die geriebene Röhre an die Drahtspitze auf dem Kissen, so wird sich der Stern von derselben gegen die Röhre kehren; denn da der Draht negativ elektrisirt ist, so zieht er die elektrische Materie aus der geriebenen Röhre an." Eine Siegellackstange giebt (für kurze Zeit) die umgekehrte Wirkung.

Staub in der Luft begünstigt nach Wesendonck[2]) die Funkenentladung in Luft. „Erzeugt man einen feinen Sprühregen aus Wasser mittelst eines Zerstäubers an der Anode, so wird das Auftreten der Funken im Anfang sehr befördert. Setzt man aber das Zerspritzen fort, so verschwinden die Funken und man sieht von zugespitzten, fast immer exzentrisch gelegenen, an der Anode haftenden Tropfen aus schöne Büschel sich bilden." Die Begünstigung der Funken zeigt sich nur, wenn die Anode benetzt wird. Vertheilung von Wassertröpfchen in der Luft ist nicht merklich wirksam.

Eine Reihe isolirter Stecknadelknöpfe wirkte nach Wesendonck[3]) nur durch Annäherung an die Anode wie die Annäherung eines Nichtleiters oder isolirten Leiters. Es trat Funkenverlängerung ohne Ansteigen des Elektrometers ein.

---

1) Cavallo, Vollständige Abhandlung von der Elektrizität, aus dem Englischen. 1786, S. 243.

2) Wesendonck, Wied. Ann. **40**, 487, 1890.

3) Wesendonck, Wied. Ann. **49**, 300, 1893.

Erheblichen Einfluss haben statische Ladungen der Gefässwände bei Entladungen in Vakuumröhren.[1])

Besonders störend muss natürlich das Eindringen der Elektrizität in die Gefässwände dann werden, wenn sich an einer Stelle der Querschnitt der Röhre sehr stark verengt. So ist in einem Rohre, welches in der Mitte erweitert, an den Enden aber kapillar ausgezogen ist, überhaupt nur Funkenentladung zu erhalten,[2]) da die die Elektroden eng umschliessenden Kapillaren ebenso wirken, wie Glasröhrchen, welche auf die Spitzen des Funkenmikrometers aufgeschoben werden.[3]) Ebenso bei einer in der ganzen Länge kapillaren Röhre.

Man beobachtet dabei, dass die Querschnittsverminderung um so störender einwirkt, je mehr das Gas verdünnt wird, je mehr sich also die Lichterscheinungen auszubreiten versuchen.

56. Elektrische Figuren.

Lässt man nach Poggendorff[4]) die Entladungen auf einer zwischen die Elektroden gehaltenen Glastafel übergehen, so erhält man zwei dünne lichtschwache Funken, die sich in schönen Verästelungen auf der Tafel ausbreiten.

Werden die Elektroden einer Influenzmaschine ohne Leydener Flaschen auf solchen Abstand genähert, dass die Streifenentladung keine ausfahrenden Aeste mehr zeigt, und schiebt man schief zwischen sie eine Glasplatte, so treten plötzlich alternirend mit der Streifenentladung einzelne Funken auf, die am positiven Ende von der Streifenentladung kaum zu unterscheiden sind, genau dieselben Krümmungen und Knickungen machen und sich höchstens durch etwas grössere Helligkeit auszeichnen. Das negative Ende dagegen besteht nicht wie bei der Streifenentladung (Fig. 269 *b*, *b*, *b*) aus vielen von verschiedenen Stellen ausgehenden blassen Lichtfäden, sondern nur einem einzigen sehr hellen Streifen *a* (Fig. 269).[5]) Dieser Versuch zeigt deutlich, wie Streifen- und Funkenentladung in einander übergehen können.

Eine eigenthümliche büschelartig verzweigte Funkenform, einfach durch Nähern der Hand gegen die negative Elektrode der Influenzmaschine erhalten, ist in Fig. 270 dargestellt. Der negative Stiel ist hierbei sehr schwach, der

1) Apparate zum Nachweis dieses Einflusses beschreibt Puluj in „Strahlende Elektrodenmaterie", Wien 1883, S. 60 ff. und Wien. Ber. (2) **85**, 871, 1882. Vgl. auch Pšenička, Beibl. **6**, 136, 1881.

2) O. L., Wied. Ann. **22**, 321, 1884.

3) Vgl. S. 415, Fig. 284.

4) Poggendorff, Pogg. Ann. **12**, 6, 61, 1865.

5) O. L., Wied. Ann. **11**, 696, 1880.

positive durch einen röthlich leuchtenden Kegel ersetzt. Abbildungen solcher Funken finden sich schon in den Lehrbüchern des vorigen Jahrhunderts.

Die Spuren, welche auf der Oberfläche vom Glas beim Ueberschlagen von Funken zurück gelassen werden, beschreibt ebenso bereits Cuthbertson.[1]) Dieselben können durch Bestäuben sichtbar gemacht werden als Lichtenberg-sche Figuren.[2])

Frick giebt dazu folgende Anleitung. Mit einer kleinen Flasche beschreibt man, indem man sie am äusseren Belege fasst, eine beliebige Figur auf dem Kuchen eines Elektrophors und beutelt dann durch Flor Semen lycopodii darauf, wovon man das nicht Anhängende durch Blasen oder Fächern mit einem Blatt Papier wegstäubt. Die Figuren sind sehr haltbar; sie zeigen sich wieder, wenn man allen Staub weggewischt hat und frischen aufbeutelt. Anstatt Semen lycopodii kann man auch Schwefelblumen aufbeuteln; beide Pulver hängen sich ziemlich gleich gut an positive und negative Figuren; streut man aber Mennige auf, so wird eine positive Figur eigentlich nur dadurch

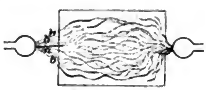


Fig. 269.



Fig. 270.

sichtbar, dass man von ihr den Staub wieder gut wegwischen kann, wodurch sie schwarz auf rothem Grunde erscheint. Zeichnet man positive und negative Figuren auf dieselbe Fläche und beutelt Mennige und Schwefelblumen vermischt auf, so hängen sich letztere vorzugsweise auf die positive Figur, während auf der negativen sich Mennige anhängt. Um positive und negative Figuren zu erhalten; braucht man nur eine Ladung; man schreibt nämlich zuerst mit dem Knopfe, setzt dann die Flasche auf einen kleinen Isolirschemel oder ein Glas, fasst sie nun am Knopfe und schreibt mit der äusseren Belegung.

Auf einer alten, lange gebrauchten Harzfläche gelingen übrigens diese Figuren nicht gut; man sollte sie wenigstens oberflächlich frisch anschmelzen. Will man aber nur kleine Figuren, so kann man sehr zweckmässig die Harzmasse auf ein Blech schmelzen und durch gelindes Erwärmen desselben die Masse leicht und schnell umschmelzen, was am besten nach jedem Versuche geschieht. Die Harzschicht braucht nur ganz dünn zu sein, 1 bis 2 mm ist dick genug, und man lässt am zweckmässigsten etwas weniger reines, also nicht gar so sprödes Kolophonium auf Schwarzblech zerfliessen; übrigens gelingt der Versuch mit jedem Kolophonium. Man kann auch sehr schöne Figuren auf einer Hartgummiplatte erhalten, wenn man sie gut trocknet und dann über

1) Cuthbertson, Abh. 129, 1786.

2) Die Litteratur siehe Riess, Reibungselektr. II. 293 und G. Wiedemann, Elektrizität.

einer Weingeistflamme rasch hin und her bewegt, um ihr alle Elektrizität zu nehmen.

Die positive Figur entspricht den auf dem Harzkuchen entstehenden negativen Lichtbüscheln bei der Glimmentladung, die negative Figur dem auf positiven Harzkuchen entstehenden positiven Glimmlicht. Die negativen Figuren stellen die mit positivem Glimmlicht bedeckt gewesenen Stellen des Kuchens dar, sind also Kundt'sche Figuren auf einem Isolator.[1])

Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man die Entladungen auf eine Wasserfläche übergehen lässt.

Solche Versuche über Büschelentladungen zwischen einer Wasseroberfläche und einer metallischen Elektrode hat schon Fernet (1864) ausgeführt.

Ich selbst habe mikroskopisch die Entladung bei zwei vertikal abwärts auf eine Wasserfläche gerichteten Spitzen beobachtet, welche sich in der in Taf. II Fig. 15 wiedergegebenen Form darstellte.

Man sah unter der positiven Spitze, von derselben ausgehend, eine reich verzweigte, an den positiven Büschel erinnernde Figur, unter der negativen eine kreisrunde Scheibe von blauem positivem Glimmlicht. Offenbar ging die Entladung zwischen der Anode und der Wasserfläche als Büschelentladung über, zwischen der Kathode und der Wasserfläche als Glimmentladung.

Sehr schöne Büschelentladungen beobachtete Goldstein[2]), als er die Büschel auf phosphoreszirenden Präparaten wie feingestossenem Glas, pulverisirtem Kalkspath u. dergl. übergehen liess.[3])

Auf der Oberfläche von Petroleum erhielt W. Holtz[4]) negative Lichtenberg'sche Figuren von ähnlicher Form wie die positiven.

Schaltet man nach W. v. Bezold[5]) bei der Herstellung der pos. Lichtenberg'schen Figur sehr schlechte Leiter in den Schliessungsbogen ein, so krümmen sich die Strahlen in auffälliger Weise.

Wird nach Busch (1885) eine Glasplatte möglichst gleichmässig und zart auf beiden Seiten mit Lykopodium bestäubt und zwischen die Kugeln eines Henley'schen Ausladers gebracht, so dass diese die Mitten der Flächen berühren, und nun der Kreis geschlossen, so entstehen ebenso vielfach verzweigte und verästelte Figuren auf beiden Seiten, wobei die Verästelungen der positiven Figur mehr gezackt, die der negativen abgerundet, lappenförmig erscheinen. Noch besser gelingen die Figuren, wenn die Glasplatte auf einer Seite mit Stanniol belegt wird. Zweckmässig ist es ferner, wenn die Glasplatte nicht frisch gereinigt wird, sondern oberflächlich Feuchtigkeit adsorbirt hat.

---

1) O. L., Molekularphysik II, 303, 1889.

2) Goldstein, Wied. Ann. **12**, 102, 1881.

3) Auch nach S. P. Thomson, Proc. Roy. Soc. **58**, 214, 1895, entsprechen die positiven Lichtenberg'schen Figuren der Büschelentladung, die negativen der Glimmentladung. Vgl. auch S. 85.

4) W. Holtz, Wied. Ann. **11**, 718, 1880.

5) W. v. Bezold, Wied. Ann. **11**, 789, 1880.

Wesendonck[1]) empfiehlt, um gut ausgebildete Lichtenberg'sche Figuren zu erhalten, die Einschaltung einer Funkenstrecke. Zu gross darf dieselbe aber nicht sein, da sich sonst z. B. anstatt einer ausgebildeten positiven Figur ein Haufen Sternchen ergiebt.

J. Spiess (1887) hat eine Art Lichtenberg'scher Figuren auch auf bestäubten Wasseroberflächen erhalten.

Ueber komplizirtere Lichtenberg'sche Figuren, welche durch Rückentladung der geladenen Harzplatte nach der inzwischen entladenen Spitze entstehen, macht Righi[2]) nähere Mittheilungen, auf welche hier nur verwiesen werden kann.

v. Hübl und v. Obermayer[3]) fixirten die auf Wasser gleitenden Funken, indem sie auf dem Wasser ein Stück lichtempfindliches Papier schwimmen



Fig. 271.



Fig. 272.

liessen. Es zeigte sich, dass die Enden der auf dem Wasser sich ausbreitenden Strahlen sich blätterartig verbreitern.

Die positive Figur auf einer lichtempfindlichen Platte hatte nach Sieben[4]) die in Fig. 271 dargestellte Form bei Atmosphärendruck, die Form Fig. 272 bei 390 mm Druck.

Auf bestäubten Platten wurden positive und negative Figur einander sehr ähnlich, wie die Figg. 273 und 274 zeigen, erstere für positive, letztere für negative Entladung.[5])

1) Wesendonck, Wied. Ann. **30**, 25, 1887.

2) Righi, Beibl. **7**, 477, 1883.

3) v. Hübl und v. Obermayer, Wien. Ber. (2) **98**, 419, 1890.

4) Sieben, Prometheus **4**, 454, 1893. Sehr schöne Photographien derartiger Figuren giebt auch Pflaum (in Riga) in der Abhandlung „physikalische Kleinigkeiten“ II, 1897.

5) Eine Uebersicht der verschiedenen elektrischen Figuren giebt H. Oberbeck, Jahresber. d. Herzogl. Karls-Realgymnasiums zu Bernburg, Ostern 1894.

Antolik[1]) beobachtete, dass unter Umständen der Funke gerade verläuft und nur in einem Punkte näher dem negativen Pol zu eine scharfe Brechung erleidet. „Mein erster Gedanke war, dass die entgegengesetzten Elektrizitäten sich in diesem Punkte vereinigen und dass die negative Elektrizität etwas schwieriger die Körper verlasse, in denen sie hervorgebracht wird, indem sie sich um etwa $^1/_8$ des Weges zu verspäten scheint."

Um diese Vereinigungsstelle genauer zu bestimmen, liess er die Funken auf berusstem Glas und Papier übergehen. So erhielt er eigenartige Figuren, welche den Lichtenberg'schen verwandt sind. Klebt man z. B. auf eine mit Schellack überzogene Glasplatte zwei einander zugekehrte Stanniolspitzen in 5 bis 8 cm Abstand, berusst die Platte und bedeckt sie mit einer zweiten berussten Platte in 2 bis 3 mm Abstand, so entstehen beim Ueberschlagen eines



Fig. 273.



Fig. 274.

Funkens eigenthümliche Figuren, Fig. 275, von welchen das positive Drittel zickzackförmig verästelt ist, wobei von den Biegungen kegelförmige Streifen ausgehen. Das negative Drittel ist nicht verästelt und die Mitte ist verbreitert aus hellen und dunklen Streifen zusammengesetzt.

Es genügt schon, die Funken einer Influenzmaschine längs einer berussten Glasplatte, welche an die Konduktoren der Maschine angehalten wird, gleiten zu lassen. Der Weg des Funkens zeichnet sich dann durch Abwerfen der Russschicht ab und man erhält schöne Figuren, bestehend aus parallelen hellen Linien, welche eine dunkle zwischen sich einschliessen. Zweckmässig wird die Glasplatte mit sehr glattem Papier (Visitenkartenpapier) überzogen und dieses berusst. Auf das Papier werden dann, wie angegeben, Stanniolspitzen aufgeklebt, zwischen welchen man den Funken überschlagen lässt.

Wird dem Funken mit Goldtinte eine zickzackförmige Bahn vorgezeichnet, so erhält man Figuren wie Fig. 276, deren eigenthümliche Form nach Mach auf Interferenz der entstehenden Luftwellen beruht (vgl. S. 435).

1) Antolik, Pogg. Ann. **151**, 127, 1873 und Peters, Pogg. Ann. **156**, 397, 1875. Aehnliche Figuren wie Antolik erzeugte auch Villari, Mem. di Bologna (II) **4**, 121, 1880.

Spiess konnte die Antolik'schen Figuren sehr schön auf mit Lycopodium bestreuten Wasserflächen erhalten.[1]) Er schreibt auf Grund dieser Beobachtungen dem elektrischen Wind eine wesentliche Rolle bei Bildung derselben zu.

Nach Ansicht von Antolik[2]) selbst sind die Figuren nichts anderes, als zwei in Kontakt gekommene Lichtenberg'sche Figuren. Der Funke durch-

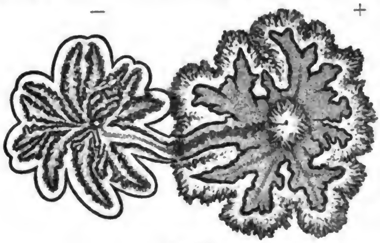


Fig. 275.

bricht die Ränder beider Figuren und die Durchbruchsstelle ist deshalb scheinbar die Vereinigungsstelle der entgegengesetzten Elektrizitäten. „Die in der positiven Figur liegende, längere Hälfte des Funkenweges hat ein runz-

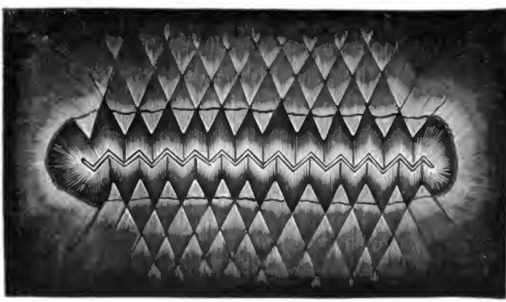


Fig. 276.

liges Aussehen und ist mit wenig Mennigestaub bedeckt, während die in der negativen Figur gelegene und immer kleinere Hälfte der Funkenbahn mehr glatt, staubarm und zugleich mit zwei breiten, parallelen Schwefelbändern umgeben ist. An der Vereinigungsstelle, wo die Funkenbahn schnell ihren

1) Spiess, Diss. Marburg 1887 u. Wied. Ann. **31**, 975, 1887.

2) Antolik, Wied. Ann. **15**, 489, 1882.

Charakter ändert, finden wir entweder ein einfaches oder V-förmiges staubleeres Fleckchen, welches darauf hindeutet, dass die beiden Elektrizitäten sich an dieser Stelle ausgeglichen haben." [1]) Vielleicht handelt es sich hier um Interferenzerscheinungen wie bei Fig. 276.

Nach Szathmàri ist die Vereinigungsstelle anders gelegen, wenn die berusste Platte mit einer dünnen Flüssigkeitsschicht statt mit Luft bedeckt ist. Daselbst spritzt die Flüssigkeit in Folge der zusammentreffenden Strömungen bis 1 m hoch in die Höhe.

Wenn man nach Lullin zwischen die Spitzen des Henley'schen Ausladers ein Kartenblatt so stellt, dass die Spitzen sich nicht gerade gegenüberstehen, etwa 1 bis 2 cm von einander entfernt das Kartenblatt berühren, so wird dieses stets in der Nähe der negativen Spitze durchbohrt. Im Vakuum erfolgt die Durchbohrung zwischen beiden Leitern. Wird das Kartenblatt mit Fett oder Glycerin bestrichen, so veranlasst dieses nach von Waltenhofen die umgekehrte Wirkung. Leitet man den Schlag durch ein Stanniolblatt, welches zwischen die in geringem Abstande befindlichen Leiter des Ausladers gestellt wird, so zeigt dasselbe auf der Seite, wo sich freie Elektrizität befand, eine Vertiefung um die durchbohrte Stelle.

Antolik [2]) nimmt zu der v. Waltenhofen'schen Umkehrung des Lullin-schen Versuches eine Glasscheibe, deren eine Seite mit einer dicken Harzschicht bedeckt ist und steckt in diese eine warme Nadel als positive Elektrode so tief, dass sie das Glas berührt. Auf die andere Seite kommt, einige Centimeter seitwärts, eine zweite Nadel als negative Elektrode. Die Glastafel wird immer und mit Leichtigkeit an der positiven Elektrode durchbrochen, augenscheinlich, weil von der positiven Spitze keine Büschelentladung ausgehen kann.

Nach Wesendonck dürfte die Umkehrung des Lullin'schen Versuches bei Benetzung des Kartenblatts mit Olivenöl darauf beruhen, dass an der Anode das Oel schneller weggetrieben wird, als an der Kathode. [3])

Beobachtet man nach Wesendonck die Vorgänge, die der Bildung eines Loches vorangehen, im Dunkeln, so sieht man von der positiven Elektrode aus über das Papier hin einen fächerförmigen Büschel sich erstrecken, der ungefähr der Kathode gegenüber endet. Dieser letzteren gerade gegenüber erblickt man eine mehr oder minder runde Stelle mit Glimmlicht bedeckt, der entsprechend auf der Seite der Anode ebenfalls ein leuchtender Fleck erscheint.

An der Anode ist gewissermaassen ein Widerstand vorhanden, welcher bedingt, dass der von dieser ausgehende Büschel nicht einmal mit seiner ganzen

---

1) v. Obermayer, Wien. Ber. **101**, 327, 1892 weist nach, dass die sog. Ausgleichstelle bei den Antolik'schen Figuren dem Trennungsstreifen der beiden Kundt-schen Staubfiguren entspricht, welche unter den beiden Entladungsspitzen entstehen.

2) Antolik, Wied. Ann. **15**, 481, 1882.

3) Wesendonck, Wied. Ann. **30**, 43, 1887. Vgl. Fig. 59, S. 62.

leuchtenden Masse an dem Kartenblatt gleitet, von der Kathode dagegen geht ein konzentrirter feiner Strahl zu der Stelle hin, an welcher bald darauf, indem er sich in einen Funken verwandelt, der Durchbruch stattfindet. (Fig. 269.)

57. Einfluss von Funkenstrecken.

In Folge der die Funkenentladung begleitenden oder derselben vorangehenden unsichtbaren Glimm- und Büschelentladungen ist es nicht gleichgültig, ob eine Elektrode langsam oder rasch auf die Entladungsspannung gebracht wird.

Schaltet man vor dieselbe eine Funkenstrecke, so wird sie zwar durch Influenz ebenfalls Spannung annehmen, in dem Momente aber, wo ein Funke an der Funkenstrecke überspringt und dadurch dieses Hinderniss gewissermaassen metallisch überbrückt wird, nimmt sie plötzlich erheblich grössere Spannung an, und zwar ist diese Spannung im Allgemeinen noch grösser, als bei metallischer Ueberbrückung im Falle des Gleichgewichts, wegen Mitwirkung der Selbstinduktion.

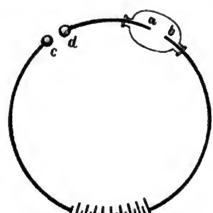


Fig. 277.

Die Fig. 277, welche einen Stromkreis mit Akkumulatorenbatterie, Entladungsstrecke *ab* und vorgeschalteter Funkenstrecke *cd* enthält, mag dies veranschaulichen.

Vor der Entladung werden *c* und *b* auf hohe Spannung entsprechend der elektromotorischen Kraft der Batterie geladen sein, zwischen *a* und *b* dagegen ist die Spannungsdifferenz kleiner um den Betrag, den die Spannungsdifferenz zwischen *c* und *d* ausmacht. Wird nun mit Entstehung des Funkens letztere = 0, so wird die Spannungsdifferenz *ab* plötzlich gleich der vollen Potentialdifferenz der Batterie. Es fliesst somit den Elektroden *a* und *b* Elektrizität zu und dieser Ladestrom begegnet, ebenso wie der auf S. 154 besprochene, dem Widerstand der Selbstinduktion. Im Entstehen wird er durch dieselbe gehemmt, beim Aufhören dagegen verstärkt und so werden die Elektroden *ab* wenigstens für einen Moment nicht nur die volle Batteriespannung, sondern die Summe von Batteriespannung und der durch die Selbstinduktion hervorgebrachten Potentialdifferenz erhalten.

Diese Verstärkung der Spannung an *a* und *b* tritt aber nicht bei beiden in gleicher Weise auf, denn denkt man sich die Potentialänderung wie bei den Figg. 118—120 von der Funkenstrecke *cd* aus längs den Drähten fortschreitend, so wird sie offenbar sehr rasch und fast ungeschwächt bei *a* anlangen, relativ viel später und in Folge des Durchgangs durch die schlecht leitende Batterie

stark abgeschwächt bei *b*. Man kann somit sagen, durch Vorschalten einer Funkenstrecke vor eine Elektrode wird an dieser Elektrode momentan die Spannung sehr stark erhöht, so dass unter Umständen dort Entladung eintreten kann, wenn schon an sich die Spannung dazu nicht ausreicht.[1])

Beobachtungen dieser Art wurden wohl zuerst von Poggendorff[2]) gemacht. Derselbe schreibt: Man kann die gewöhnlich direkt an der negativen Elektrode des Induktoriums befestigte Scheibe gut „einen halben Zoll und mehr entfernt von der negativen Elektrode aufstellen und dennoch durchspringt der Funke zwischen ihr und der positiven Elektrode fast dieselbe Strecke, wie, im Fall sie die negative berührt, so dass, da man zugleich einen Funken zwischen der Scheibe und der negativen Elektrode bekommt, die Summe der beiden Schlagweiten noch etwas grösser ist als die einzige im Fall der Berührung.“

Poggendorff[3]) zeigte ferner, dass man durch Vorschalten einer Funkenstrecke (zwischen Kugeln), auch zwischen sehr fein zugespitzten Elektroden, zwischen welchen sonst nur Glimm- und Büschelentladung eintreten würde, Funken erhalten kann: „Die zweite von Kugeln begrenzte Luftstrecke hat bei diesen Erscheinungen zunächst die Wirkung, dass sie eine stärkere Ladung der Flaschen gestattet als zwischen blossen Spitzen möglich ist; und es ist wohl klar, dass, wenn in dieser Luftstrecke eine Funkenentladung stattfindet, eine solche auch nothwendig in der andern Strecke, in der zwischen den Spitzen, eintreten muss, weil diese dadurch urplötzlich mit einer so grossen Elektrizitätsmenge versehen werden, dass sie gewaltsam ausbrechen muss.“ In Folge der Funkenbildung zwischen den Kugeln wird für einen Moment die Ausströmung an den Spitzen unterbrochen und dadurch die Entstehung der Funkenentladung ermöglicht.[4])

Glimmentladung lässt sich in Büschelentladung oder diese in Funkenentladung überführen, wenn man einen Glasstab an den positiven Pol hält.

Zwischen Spitzen, welche nur unsichtbare Glimmentladung gaben, wurden hellleuchtende Funken erhalten, als eine mit Baumwolle gestopfte Glasröhre dazwischen gebracht wurde. Sehr gut wirkte Zucker, welcher ein blaues Licht ausstrahlte.

In Uebereinstimmung mit Poggendorff beobachtete Jaumann, dass, wenn vor eine Entladungsstrecke eine kleine Funkenstrecke geschaltet wird, die an der Entladungsstrecke gemessene Potentialdifferenz kleiner wird[5]); es war sogar möglich, mit derselben Potentialdifferenz, welche sonst gerade für die Entladungsstrecke allein ausreichte, beide Funken zugleich zu erhalten. Für

1) Der Vorgang erinnert an die Druckerhöhung beim hydraulischen Widder oder die Erniedrigung bei Jagn's Pulsirpumpe. (Frick-Lehmann, phys. Technik, I, 591).

2) Poggendorff, Pogg. Ann. **126**, 58, 1865.

3) Poggendorff, Pogg. Ann. **139**, 341, 1870.

4) Vgl. auch Poggendorff, Pogg. Ann. **137**, 451 und **132**, 112, 1867.

5) Jaumann, Wien. Ber. **97** (2), 765, 1888.

grössere Hauptfunkenstrecken war die Herabsetzung des Potentials durch den Nebenfunken so gross, dass sich dann für beide die erforderliche Potentialdifferenz noch kleiner ergab, als für den Hauptfunken allein.

Auf gleichem Prinzip beruht wohl auch die Entstehung der langen Funken auf Goldschnitt, Blitzröhren u. s. w.[1])

Sehr schöne, lang ausgedehnte und reich verzweigte Funkenentladungen dieser Art werden auf einer mit Zinkspänen beklebten Ebonitscheibe unter Anwendung eines grossen Funkeninduktors erhalten. Dvořak empfiehlt zu gleichem Zwecke unechtes Goldpapier.

Brillante Effekte lassen sich nach Tesla bei Anwendung hochgespannter Wechselströme hoher Frequenz erzielen.

Eine gewöhnliche Blitzröhre zeigt Fig. 278 (nach Frick).



Fig. 278.

Die Röhre wird mit der Hand gefasst und dem Konduktor so weit genähert, dass reichliche volle Funken auf den Knopf derselben überspringen, die sich dann auf allen Unterbrechungen der aus Stanniolstückchen gebildeten Spirale wiederholen.

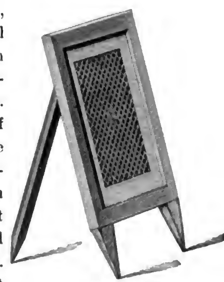


Fig. 279.

Aehnlich eingerichtet ist die Blitztafel, Fig. 279. Man belegt eine beliebig grosse Tafel von Fensterglas auf beiden Seiten bis auf einen Abstand von etwa 5 cm vom Rande mit Stanniol und schwärzt die eine Belegung mit Tusche. Diese Belegung wird, nachdem sie gehörig auf dem Glase angetrocknet ist, in rautenförmige Stückchen von etwa 5 bis 10 mm Seite zerschnitten, indem man Stanniolstreifen von $1/3$ mm Breite ausschneidet. Die Schnitte werden mit dem Federmesser an dem Lineal geführt und die ausgeschnittenen Streifchen herausgeschält. Auf die Mitte dieser Seite befestigt man mit Siegellack ein kleines rundes Blech mit einem Ringe. Die Tafel wird auf einen Tisch gelegt, der Konduktor der Maschine mit dem Ringe und der einfache Auslader mit dem unteren unzerschnittenen Belege verbunden. Während des Ladens der Tafel springen dann von der Mitte aus geschlängelte Funken über die zerschnittene Fläche, und wenn man den Auslader dem Konduktor nähert und die Tafel entladet, erscheint dieselbe ganz mit Blitzen bedeckt, die alle in geschlängelter Richtung nach der Mitte gehen.

Gewöhnlich lässt man die Blitztafel in einen mattschwarzen Holzrahmen fassen, und überzieht auch den unbelegten Rand auf der Rückseite mit schwarzem Papier. Ein Stanniolstreifen wird dann von der hinteren Belegung unter der Rückwand der Tafel hervorgeführt bis auf die hintere Seite des Rahmens, wo man eine Drahthafte einschlägt, um die Kette des Ausladers bequem befestigen zu können.

1) Vgl. auch eine Beobachtung von Weinhold, Pogg. Ann. **140**, 176, 1870.

Funken, welche an einer mehr oder weniger gut leitenden Fläche hingleiten, können ebenfalls wesentlich grössere Länge annehmen als bei der Entstehung in freier Luft.[1])

Nach J. Spiess (1887) können sehr lange Entladungsfunken einer Batterie von Leydener Flaschen dadurch erhalten werden, dass man sie längs einer Wasseroberfläche gleiten lässt.

Nach v. Lepel[2]) geht durch eine im Innern mit Paraffin überzogene Röhre, welche etwas Wasser enthält, der Funke der Influenzmaschine mit besonderer Leichtigkeit hindurch.[3]) Beispielsweise wurde in eine 15 mm weite Entladungsröhre eine dünnwandige mit Schwefelsäure gefüllte und zugeschmolzene Kapillarröhre gelegt und ausserdem die Röhre mit einer Drahtspirale umwickelt. Es erreichten dann die Funken eine Länge von 60 cm.

„Lässt man die Kapillarröhre fort, so nimmt der Funke seinen Weg gegenüber der Spirale im Innern der Röhre, und giebt man der Kapillarröhre unter Fortfall der äussern Spirale ebenfalls eine beliebige gebogene Form, so dient diese dem Funken jedesmal als Unterlage.“

M. Töpler[4]) erhielt durch Anwendung sehr grosser Flaschenbatterien Funken von 1 bis 2 m Länge längs Glasröhren, welche innen mit Stanniol belegt oder mit Quecksilber gefüllt waren.

Nach Jaumann[5]) erhöht eine vorgeschaltete Funkenstrecke die Schlagweite nicht allein durch Erhöhung der Spannung, sondern die Aenderungsgeschwindigkeit der Potentialdifferenz bedingt, dass die Entladung leichter eintritt.

Nach Heydweiller[6]) beruht der Einfluss vorgeschalteter Funkenstrecken darauf, dass ein Theil der zuströmenden Elektrizität nicht zur Entladung gelangt, sondern sich rückwärts ausgleicht. Die Entladungsdauer wird also abgekürzt.

Schaltet man nach Jaumann „mehrere Spitzenplattenpaare S (Fig. 280) (mit + Spitze und — Platte) hinter einander in den Stromkreis der Influenz-



Fig. 280.

maschine und vor dieselben eine kleine Funkenstrecke f, so zeigt das erste Spitzenplattenpaar S_1 ein grosses Büschel, das zweite ein viel kleineres, das

1) Beobachtungen hierüber machten zuerst Abria, Ann. chim. phys. **74**, 186, 1840; Zimmermann, Handbuch der Physik 122, 1854; Paalzow, Pogg. Ann. **127**, 137, 1866; Antolik, Pogg. Ann. **151**, 127, 1874 und **154**, 14, 1875; Peters, Pogg. Ann. **156**, 397, 403, 1875; Spiess, Wied. Ann. **31**, 975, 1887.

2) v. Lepel, Beibl. **15**, 62, 1889.

3) Vgl. v. Lepel, Wied. Ann. **39**, 361, 1890.

4) M. Töpler, Abh. der naturw. Ges. Isis, Dresden 1897, Heft 1.

5) Jaumann, Wien. Akad. **97** (2), 765, 1888.

6) Heydweiller, Wied. Ann. **38**, 534, 1889.

dritte gewöhnlich nur mehr Glimmlicht. Schaltet man die Funkenstrecke auf der negativen Seite vor, so zeigt S_3 ein grosses Büschel, S_2 ein kleines und S_1 Glimmlicht.

Die durch den Funken erhöhten Stromwellen flachen sich also beim Durchtritt durch eine Büschelentladung bedeutend ab.

Vertauscht man die Elektroden irgend eines Spitzenplattenpaares mit einander, so dass die Spitze das negative Licht aufsetzt, dessen Aussehen durch vorgeschaltete Funken durchaus nicht geändert wird, so bleibt doch die Wirkung auf die übrigen + Spitzenpaare dieselbe wie vorher, woraus folgt, dass die Intensität der negativen Büschelentladung in derselben auffallenden Weise durch kleine, aber rasche Potentialschwankungen erhöht wird, wie die der positiven, obwohl damit keine Aenderung des Aussehens des negativen Lichtpunktes eintritt."[1])

Schaltet man bei dem oben (S. 98) beschriebenen Versuch des Doppelglimmens vor die positive Elektrode eine kleine Funkenstrecke, so verwandelt sich die Glimmentladung sofort in Büschelentladung, derart, dass aus allen Poren des Seidenzeuges nahezu parallele Büschelstrahlen austreten, welche sich bis gegen die andere Elektrode hin erstrecken.

Wird der eine Konduktor der Influenzmaschine mit einem mehrere Meter langen, mit Stanniol bekleideten Brett verbunden, der andere mit einem in etwa 15 cm Entfernung parallel gespannten isolirten, feinen Draht, so zeigt sich letzterer längs seiner ganzen Oberfläche mit Glimmlicht bedeckt, welches bei positiver Elektrisirung eine völlig zusammenhängende Hülle bildet, im entgegengesetzten Falle dagegen sich aus dicht an einander gereihten Lichtpunkten zusammensetzt. Bringt man nun eine Nebenschliessung mit einer ca. 2 cm langen Funkenstrecke an, so besetzt sich der Draht, wenn er negativ ist, seiner ganzen Länge nach mit langen, zu seiner Achse senkrechten Büschelstrahlen, ist er positiv, so geräth er in sehr lebhafte Transversalschwingungen, wobei die verschiedenen Schwingungszustände durch plötzliches Aufleuchten in Folge rasch nach einander eintretender Glimmentladungen schön zur Anschauung kommen, ähnlich wie wenn man eine schwingende weisse Schnur mit rasch intermittirendem Lichte beleuchtet, Fig. 281 und Fig. 282.[2])

Auf ähnlichen Wirkungen vorgeschalteter Funken beruht vielleicht das Ergebniss des folgenden Versuchs, aus welchem ich früher auf eine der leuchtenden vorangehende dunkle Entladung an Spitzen schliessen zu können glaubte.[3])

---

1) „Die Abflachung vorhandener Stromstösse durch Einschaltung eines Büschels ist von praktischer Bedeutung. Man erkennt z. B., dass durch die Anwendung von Saugspitzen bei den Influenzmaschinen die Ruhe des von ihnen gelieferten Stromes beträchtlich erhöht wird, und dass dieselbe noch vollkommener gemacht werden kann durch Einschaltung von weiteren Spitzenplattenpaaren, wenn dies die Leistungsfähigkeit der Maschine gestattet." Vgl. auch Fig. 92, S. 100.

2) O. L., Wied. Ann. **44**, 643, 1891.

3) O. L., Molekularphysik II, 229, 1889.

Ein aus Goldpapierröhren und Nähnadeln verfertigtes viertheiliges Flugrad *b* (Fig. 283) wurde in einem mit Stanniol ausgekleideten Kasten bifilar aufgehängt und die Ablenkung bei Elektrisirung mittelst Spiegel und Fernrohr beobachtet. Die Zuführung der Elektrizität geschah durch Ableitung von einer Kugel eines Funkenmikrometers, der zwischen den einen Pol einer Influenzmaschine *c* und die Erdleitung *de* eingeschaltet war. Auch auf der Leitung zum Flugrad wurde ein Funkenmikrometer *a* angebracht, dessen Kugeln aber durch Spitzen ersetzt (Fig. 284). Das erste Funkenmikrometer wurde alsdann so regulirt, dass bei mässiger Entfernung der Spitzen des zweiten eine schwache Ablenkung eintrat. Die Spitzen des letzteren blieben dabei vollkommen dunkel. Die Ablenkung wurde stärker, als deren Entfernung vermindert wurde. Sobald aber ein Leuchten sichtbar wurde, erfolgte plötzlich so starke Ablenkung, dass die



Fig. 281.



Fig. 282.

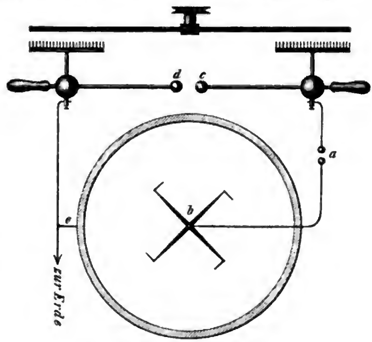


Fig. 283.

ganze Skala aus dem Gesichtsfelde verschwand. Es hatte somit anscheinend vor der leuchtenden eine weit schwächere konvektive (dunkle) Entladung stattgefunden.

G. Wiedemann[1]) schaltete vor die Elektroden einer Geissler'schen Röhre kleine Funkenstrecken von etwa $^1/_2$ mm Länge. „Befand sich die Unterbrechungsstelle an der negativen Elektrode, so trat der dunkle Raum an der negativen Elektrode viel schärfer und breiter hervor; ebenso zeigte sich dicht an der positiven Elektrode eine schmale dunkle Stelle, von der aus die röthlich leuchtende Entladung erst sich etwas verjüngend, dann sich wieder ausbreitend das Rohr durchzog.

Befand sich die Unterbrechungsstelle an der positiven Elektrode, so erschien die positive Elektrode mit hellerem Glimmlicht bedeckt, als die negative; von ersterer ging sofort eine graue Lichtsäule aus, welche das ganze

1) G. Wiedemann, Pogg. Ann. **158**, 252, 1876.

Rohr erfüllte, vor der negativen Elektrode sich etwas verjüngte und daselbst an einer gegen letztere sich konoïdisch zuspitzenden Stelle heller wurde; dann aber bis zur negativen Elektrode erstreckte, ohne von derselben durch einen dunkeln Raum getrennt zu sein." [1])

Die Ergebnisse eigener Untersuchungen in gleicher Richtung, welche zur Unterscheidung der vier Entladungsarten führten, [2]) sind bereits unter diesem Titel oben S. 6—16 beschrieben. Dabei wurden speziell zu diesem Zweck konstruirte Funkenmikrometer (Fig. 284) benutzt, deren Wirkung auf dem bereits erörterten Einfluss statischer Ladungen auf Funkenentladungen beruht.

Die Potentialdifferenz, welche eine Funkenstrecke zulässt, hängt nämlich ausser von ihrer Grösse wesentlich von der Form der Elektroden ab. Kugeln gestatten eine grössere Anhäufung als Spitzen, und zwar eine um so höhere, je grösser deren Radius ist. Um also die Entladungsintensität zu vergrössern,

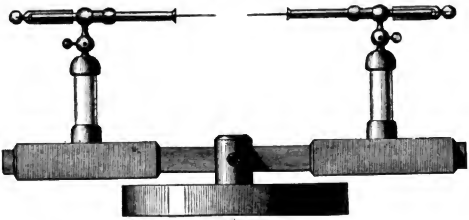


Fig. 284.

könnte man den Funkenmikrometer derart einrichten, dass sich auf die Spitzen Kugeln von verschiedenem Durchmesser aufstecken lassen. Der gleiche Zweck lässt sich wirksamer und bequemer in anderer Weise erreichen.

Dass eine Kugel eine grössere Potentialdifferenz zulässt als eine Spitze, beruht darauf, dass das Gefälle des Potentials an der Kugeloberfläche grösser ist als an der Spitze. Gelingt es also, durch ein geeignetes Mittel einen langsamen Abfall der Potentialkurve an der Spitze zu erhalten, so muss der gleiche Erfolg erzielt werden wie durch Anwendung einer Kugel. Es ist dies in der That möglich durch Ueberschieben eines Stückchens Glasrohr, welches die Spitze um einige Millimeter überragt. D e r h e r v o r r a g e n d e T h e i l d e r i n n e r e n W a n d u n g d i e s e s R ö h r c h e n s l a d e t s i c h m i t d e r E l e k t r i z i t ä t d e r S p i t z e, u n d z w a r m i t u m s o h ö h e r e r D i c h t e, j e n ä h e r e r s i c h d e r S p i t z e b e f i n d e t.

Es ist leicht ersichtlich, dass so ein ganz langsamer Abfall des Potentials von der Spitze bis zum Ende des Röhrchens erzielt werden muss, so dass der beabsichtigte Zweck in der That erreicht wird. Je nachdem man das Röhrchen

1) Vgl. auch Heritsch, Wied. Ann. **30**, 660, 1887.
2) O. L., Wied. Ann. **11**, 686, 1880 u. **22**, 305, 1884.

mehr oder weniger über die Spitze verschiebt, wird seine Wirkung stärker oder schwächer.

Die von mir gebrauchte Form solcher Funkenmikrometer zeigt Fig 284. Die Spitzen sind mit passend geführten Glasgriffen versehen und lassen sich mehr oder weniger in die Glasröhrchen zurückziehen oder daraus hervorschieben.

Wird ein solcher Funkenmikrometer vor eine Elektrode eines evakuirten Gefässes eingeschaltet, so wird die Entladung nicht nur durch momentane Erhöhung der Spannung an der betr. Elektrode wie in freier Luft beeinflusst, sondern auch durch Ladung der Gefässwände.

Befindet sich die Funkenstrecke etwa an der negativen Seite (Figg. 285 und 286), so wird sich das Gefäss ebenso wie eine Vakuumflasche im Innern positiv elektrisch laden, so lange bis an der Funkenstrecke die zur Entladung nöthige Potentialdifferenz erreicht ist, dann aber wird plötzliche Entladung eintreten und sich eine intensive Lichterscheinung bemerkbar machen, welche

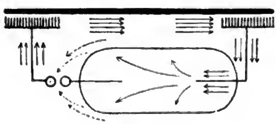


Fig. 285.

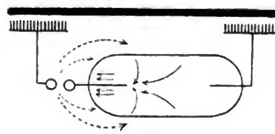


Fig. 286.

an Glanz die erste, falls diese überhaupt wahrzunehmen war, weit übertrifft. Die Strömung bei der Ladung ist in Fig. 285 dargestellt. Dabei bedeuten die punktirten Pfeile elektrische Verschiebung im Dielektrikum (oder elektrischen Wind). Fig. 286 zeigt die Entladung. Dieselbe stellt eine rings um die Kathode sich schliessende Strömung dar, welche die Strömung im Hauptkreise, falls die Funkenstrecke nur sehr klein ist, kaum merklich affizirt. Entfernt man die Spitzen des Funkenmikrometers über Schlagweite, so ist auch bei der Entladung die Stromintensität nur gering. Nähert man dieselben aber bei eingeschalteter Flasche bis auf Schlagweite, so kann die Stromintensität so hoch ansteigen, dass eine direkte Funkenentladung zwischen beiden Elektroden stattfindet. Würde die Funkenstrecke statt auf der negativen auf der positiven Seite eingeschaltet, so würde mutatis mutandis dasselbe gelten wie im erstbeschriebenen Falle. Bei Vermeidung einer Funkenstrecke ist die Stromintensität ebenso wie bei grossen Funkenstrecken sehr gering.

Ist die Gefässwand leitend (metallisch), so ist eine Ladung nach Art der Vakuumflasche unmöglich, bei geringem Durchmesser kann sie aber selbst die Rolle einer Elektrode übernehmen, derart, dass die der Kathode benachbarte Wand als Anode dient, die Strömung nun durch das Metall hindurch fortschreitet bis zu dem die Anode umschliessenden Theile, welcher dann, als Kathode dienend, die Entladung zur Anode veranlasst.

Durch wechselnde Ladung der Gefässwände erklären sich vermuthlich die eigenthümlichen scheinbaren Bewegungen der leuchtenden Gasmassen in Vakuumröhren, z. B. das langsame Wandern der Schichten in Geissler'schen Röhren, welches u. A. Wüllner (1874) näher beobachtete. Manchmal erinnern diese Bewegungen an das Verhalten von Kugelblitzen. So beobachtete bereits Noad[1]) bei der Entladung einer grossen mit Dampf betriebenen Elektrisirmaschine mit 3 m Scheibendurchmesser in einem langen evakuirten Rohre die Bildung einer leuchtenden Kugel, welche sich langsam fortbewegte.

Righi[2]) beobachtete bei Entladung einer grossen Batterie von ca. 0,2 Mikrofarad Kapazität in einem weiten evakuirten Glascylinder mit vorgeschalteter Funkenstrecke und Wasserwiderstand einen rothen Funken, welcher aus einem langsam fortschreitenden hellen Schein bestand, oder eine Reihe hinter einander liegender Lichtsäulchen, welche sich in gleicher Weise mit der Geschwindigkeit von etwa 1 m pro Sekunde fort bewegten.

Vermuthlich handelt es sich hier um Funken mit mehreren dunkeln Intermittenzstellen, welche letztere langsam ihre Lage in der Funkenbahn änderten. Righi vergleicht die Erscheinung mit den sog „Kugelblitzen“ und nennt diese Entladungen der Analogie wegen „Kugelentladungen“.

Wird der Stromkreis während der Entladung unterbrochen, so verschwinden die Massen und erscheinen bei Wiederschliessen des Stromes zunächst an der Anode. Wird nur ein Widerstand eingeschaltet, so verschwinden sie scheinbar ebenfalls, treten aber nach Ausschaltung desselben an derselben Stelle wieder hervor.

Auch bei dem Nordlicht zeigen sich wandernde Lichtmassen, die vielleicht auf ähnliche Weise zu Stande kommen.[3]) Möglicherweise spielen elektrisch geladene Schneeflocken dabei eine Rolle.[4])

In wieweit etwa der Blitz als eine Entladung, welche von Wassertröpfchen zu Wassertröpfchen übergeht, ähnlich wie der Funke längs einer Blitzröhre, hier in Betracht kommt, muss ebenfalls dahingestellt bleiben.

Eine wohlgelungene Photographie eines Blitzes demonstrirte A. Blümel in der physikalischen Gesellschaft in Berlin am 23. Oktober 1896. Das Bild zeigt den ganzen Weg des Blitzstrahls von der Wolke, welche sich in 146 m Höhe befand, bis zur Einschlagstelle. Direkt unter der Wolke verzweigte sich der Blitz in zwei Strahlen, von denen der schwächere nur 100 Schritte vom Beobachter entfernt in eine Weide ging, während der Hauptstrahl 400 Schritte

1) Noad, Fortschritte der Phys. XI, 404, 1855.

2) Righi, Mem. di Bologna (5) 1 u. 2, 1891 u. 1892.

3) K. R. Koch, Resultate der Polarlichtbeobachtungen, angestellt im Winter 1882 und 1883 auf den Stationen Kingua-Fjord und Nain. (Aus dem deutschen Polarwerke.)

4) Nach Ebert, Magnetische Kraftfelder Leipzig, 1896, S. 53 haben die Polarlichtstrahlen die Richtung der magnetischen Kraftlinien und „umstehen die magnetische Achse wie zwei Lichtmanschetten“, welche aber häufig nur unvollständig ausgebildet (Draperiepolarlicht) oder dem Beobachter nur theilweise sichtbar sind (Bogenpolarlicht.)

entfernt in ein Erlengebüsch schlug. Eine 100 Schritte vom Apparat entfernte Telegraphenstange hat auf dem Bilde nur $^2/_3$ vom Durchmesser des 400 Schritte entfernten Hauptstrahls.

---

58. Elektrische Schwingungen.

A. Selbstinduktion und Kapazität.

Würde man den Strom in der Magnetisirungsspule bei der auf S. 147 besprochenen Vorrichtung dadurch erzeugen, dass man die Enden derselben plötzlich mit den Belegungen des früher betrachteten mit $8 \cdot 10^{-4}$ Kilogrammmeter elektrischer Energie geladenen Kondensators in Verbindung brächte, so würde sich, falls der Widerstand der Drahtleitung als verschwindend klein angenommen werden könnte, die gesammte im Kondensator angehäufte elektrische Energie in magnetische umsetzen. Damit würde der Entladungsstrom ein Ende nehmen und an seiner Stelle würde der Extrastrom auftreten, welcher eine umgekehrte Ladung des Kondensators bewirkt auf Kosten der magnetischen Energie, bis schliesslich die Eisenplatte wieder gänzlich unmagnetisch geworden und der Kondensator zur ursprünglichen Stärke geladen, d. h. die gesammte magnetische Energie wieder in elektrische Energie zurückgewandelt ist. Alsdann würde das Spiel von Neuem beginnen; es würden sich also elektrische Schwingungen ausbilden, bei denen ein Hin- und Herschwanken der Elektrizität in den Leitungsdrähten stattfindet, ähnlich dem Hin- und Herströmen des Wassers in einer weiten, widerstandslosen Wasserleitung, an deren Enden plötzlich zwei bis zu verschiedenem Niveau gefüllte Wasserbehälter angeschlossen werden.

In diesem Falle vollzieht sich die Entladung des Kondensators nicht momentan, da die Erzeugung des magnetischen Feldes, d. h. die Ingangsetzung der Maxwell'schen Wirbel (Fig. 110) durch den Strom Zeit beansprucht. Obschon also die Stromleitung als widerstandslos vorausgesetzt wurde, verhält sie sich so, als ob sie einen beträchtlichen Widerstand hätte, den man als scheinbaren Widerstand oder Induktanz bezeichnet. Derselbe ist um so grösser, je grösser die Zahl der Windungen, auf welche das magnetische Feld induzirend wirken kann. Nennt man s die Zahl der Windungen der Spule, N_1 die Zahl Kraftlinien, welche ein durch die Spule fliessender Strom von 1 Ampère Stärke hervorruft und T die Schwingungsdauer der elektrischen Oszillationen in Sekunden, so ist die von der maximalen Stromstärke i_m Ampère hervorgerufene Kraftlinienzahl $= N_1 \cdot i_m$ und die in einer Windung auftretende elektromotorische Kraft der Selbstinduktion, da diese $N_1 \cdot i_m$ Kraftlinien in der Zeit $\frac{T}{4}$ entstehen,

$$E_1 = \frac{4\,N_1 \cdot i_m}{T}\ \text{Volt},$$

somit die ganze (mittlere) Kraft der Selbstinduktion

$$E = s \cdot \frac{4\,N_1 \cdot i_m}{T} = \frac{4}{T} \cdot L \cdot i_m\ \text{Volt},$$

worin $L = s \cdot N_1$ den sog. **Selbstinduktionskoeffizienten** gemessen in Henry bezeichnet.

Die maximale elektromotorische Kraft der Selbstinduktion E_m ist bei sinusförmigen Schwingungen $\frac{\pi}{2}$ mal so gross als die mittlere, also

$$E_m = \frac{2\,\pi}{T} \cdot L \cdot i_m = z \cdot \pi \cdot L \cdot i_m\ \text{Volt},$$

wenn $z = \frac{2}{T}$ die Polwechselzahl pro Sekunde bedeutet.

Die mittlere Stromstärke i ergiebt sich gemäss der Ueberlegung, dass in der Zeit $\frac{T}{4}$ Sekunden die ganze Ladung des Kondensators, welche $C \cdot E_m$ Coulomb beträgt, durch die Leitung hindurchfliesst, so dass

$$i = \frac{4 \cdot C \cdot E_m}{T}\ \text{Ampère}$$

sein muss.

Hieraus ergiebt sich der maximale Werth der Stromstärke

$$i_m = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{4 \cdot C \cdot E_m}{T} = \frac{2\pi \cdot C \cdot E_m}{T}\ \text{Ampère}.$$

Setzt man diesen Werth in obige Formel ein, so folgt

$$E_m = \frac{2\,\pi}{T} \cdot L \cdot \frac{2\,\pi \cdot C \cdot E_m}{T}\ \text{Volt}$$

oder

$$T = 2\,\pi \sqrt{C\,L}\ \text{Sekunden.}$$ [1]

Wir wollen diese Formel auf das oben S. 148 betrachtete Zahlenbeispiel anwenden, indess nicht unter Benutzung des plattenförmigen Magneten, für welchen sich die Berechnung des Selbstinduktionskoeffizienten weniger einfach gestaltet, sondern unter Benutzung eines ringförmigen Magneten, wie Fig. 287, welcher dieselben Dimensionen haben möge wie der S. 145 betrachtete rotirende Kautschukring. Ist derselbe mit s Drahtwindungen versehen, so ist die durch i_m Ampère erzeugte Kraftlinienzahl,[2] wenn die Permeabilität $\mu = 1150$ angenommen wird:

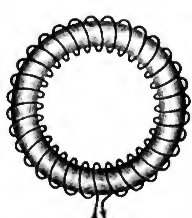


Fig. 287.

$$N = \frac{4\,\pi \cdot s \cdot i \cdot q \cdot 1150}{107 \cdot l}\ \text{Kraftlinien zu}\ \frac{1}{4\,\pi}\ \text{Weber}.$$

Sei die Länge der Kraftlinien, d. h. der mittlere Umfang des Ringes $l = 1$ Meter, somit das Volumen

1) Dabei ist vorausgesetzt, dass von Hysteresis und Wirbelströmen abgesehen werden kann und dass die Stromschwankungen sinusförmige sind.

2) Vgl. **Müller-Lehmann**, Grundriss d. Physik S. 534, § 431.

des Ringes $16 \cdot 10^{-4}$ Kubikmeter, der Querschnitt desselben $q = 16 \cdot 10^{-4}$ Quadratmeter, die Windungszahl $s = 50$ und die Stromstärke $i = 1{,}65$ Ampère, so folgt

$$N = \frac{4 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 1{,}65 \cdot 16 \cdot 10^{-4} \cdot 1150}{10^7} = 1{,}9 \cdot 10^{-4}.$$

Demnach ist die in dem Ringe angehäufte magnetische Energie

$$A = \frac{10^7}{8 \cdot \pi \cdot g} \cdot \frac{v}{\mu} \cdot \left(\frac{N}{q}\right)^2$$

$$= \frac{10^7 \cdot 16 \cdot 10^{-4} \cdot 1{,}9^2 \cdot 10^{-8}}{8 \cdot 3{,}14 \cdot 9{,}81 \cdot 1150 \cdot 16^2 \cdot 10^{-8}} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ Kilogrammmeter,}$$

also ebenso gross wie im Falle der Eisenplatte. Die von 1 Ampère hervorgerufene Kraftlinienzahl beträgt

$$N_1 = \frac{1{,}9 \cdot 10^{-4}}{1{,}65} = 1{,}15 \cdot 10^{-4}$$

und der Selbstinduktionskoeffizient

$$L = s \cdot N_1 = 1{,}15 \cdot 10^{-4} \cdot 50 = 57{,}5 \cdot 10^{-4} \text{ Henry.}$$

Nun war die Kapazität des Kondensators:

$$C = \frac{2{,}7 \cdot 4 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^9 \cdot 4\,\pi \cdot 4 \cdot 10^{-2}} = 2{,}39 \cdot 10^{-11} \text{ Farad,}$$

somit ergiebt sich die Dauer der elektrischen Schwingungen zu:

$$T = 2\,\pi \sqrt{C \cdot L} = 2 \cdot 3{,}14 \cdot \sqrt{2{,}39 \cdot 10^{-11} \cdot 5{,}75 \cdot 10^{-3}}$$
$$= 6{,}28 \cdot \sqrt{13.7 \cdot 10^{-14}} = 23{,}2 \cdot 10^{-7} \text{ Sekunden}$$

oder die Frequenz, d. h. die Schwingungszahl pro Sekunde:

$$n = \frac{1}{T} = 430\,000.$$

Die Frequenz beträgt also nahezu eine halbe Million. Die maximale Stromstärke ist dabei:

$$i_m = \frac{2\,\pi\, C \cdot E_m}{T} = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 2{,}39 \cdot 10^{-11} \cdot 25\,000}{23{,}2 \cdot 10^{-7}} = 1{,}62 \text{ Ampère.}$$

B. Oszillatorische Entladung.

Die Anzahl der Schwingungen würde sich bedeutend grösser ergeben, wenn die Selbstinduktion der Strombahn geringer wäre. Nehmen wir z. B. den Fall, dass die Belegungen des Kondensators nicht mit einer Leitung in Verbindung gesetzt werden, sondern die elektrische Festigkeit des Dielektrikums an einer Stelle plötzlich so vermindert wird, dass dort Ausgleich der Ladungen in Form disruptiver Entladung stattfindet, so wird in diesem Falle zwar ebenfalls ein magnetisches Feld erzeugt, da die dielektrische Rückverschiebung nicht mit der Strombahn zusammenfällt (Fig. 288), sondern damit einen Stromkreis von etwa $4 \cdot 10^{-2} \cdot 4 \cdot 10^{-2} = 16 \cdot 10^{-4}$ Quadratmeter Flächeninhalt bildet, in welchem die durch 1 Ampère hervorgerufene Kraftlinienzahl[1])

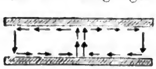


Fig. 288.

1) Vgl. Müller-Lehmann, Grundriss d. Physik, S. 528 § 426.

und somit auch, da die Windungszahl = 1 ist, auch der Selbstinduktionskoeffizient

$$L = \frac{4\pi \cdot \pi \cdot r^2}{10^7 \cdot 2r} = \frac{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 4 \cdot 10^{-2}}{10^7 \cdot 2} = 79 \cdot 10^{-9} \text{ Henry}$$

beträgt, so dass sich die Schwingungsdauer zu

$$2 \cdot 3{,}14 \sqrt{2{,}39 \cdot 10^{-11} \cdot 79 \cdot 10^{-9}} = 86{,}5 \cdot 10^{-10} \text{ Sekunden}$$

und die Schwingungszahl zu

115000000,

also zu über Hundert Millionen pro Sekunde ergiebt.[1])

Solche Oszillationen der Entladung beobachtete zuerst Feddersen[2]) mittelstdes Drehspiegels.

W. Holtz bringt die kurze Dauer und oszillatorische Natur des Entladungsfunkens zur Anschauung, indem er eine kleine Funkenstrecke mittelst einer Zentrifugalmaschine sehr rasch im Kreise umlaufen lässt. Man sieht dann nicht einen leuchtenden Kreis, sondern einzeln auf einem Kreise vertheilte Gruppen von Funken.[3])

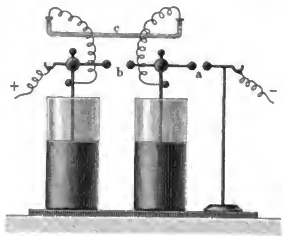


Fig. 289.

In anderer Weise kann nach Knochenhauer und v. Oettingen der Nachweis der oszillirenden Flaschenentladung mittelst des in Fig. 289 dargestellten Apparates (nach Weinhold) ausgeführt werden. Zwei Leydener Flaschen mit verschiebbaren Knöpfen werden auf einer Metallplatte einander nahe aufgestellt, so dass die Funkenstrecke bei *b* 18 mm beträgt. Der Flasche rechts wird ein gleichfalls mit der Metallplatte leitend verbundener Knopf ge-

1) Für den Fall der Entladungen einer Maassflasche von der Kapazität *C* Farad durch einen Schliessungsdraht vom Widerstand *W* Ohm und dem Selbstinduktionskoeffizienten *L* Henry ergiebt sich unter der Voraussetzung, dass man die Funkenstrecke als metallischen Leiter betrachten kann:

$$T = 2\pi \sqrt{CL} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - CL\left(\frac{W}{2L}\right)^2}} \text{ Sekunden.}$$

2) Litteratur: Savary, Pogg. Ann. **10**, 100, 1827. v. Helmholtz, Erhaltung der Kraft, 1847. W. Thomson, Phil. Mag. (4) **5**, 393, 1853. Kirchhoff, Pogg. Ann. **100**, 193, 351; **102**, 529, 1857. Feddersen, Pogg. Ann. **113**, 437, 1861; **116**, 1862, 132. v. Oettingen, Pogg. Ann. **115**, 513, 1862. Paalzow, Berl. Ber. 1862, 152. Rood, Sill. Journ. (2) **48**, 154, 1869. v. Bezold, Pogg. Ann. **144**, 541, 1870. Cazin, C. R. **76**, 875, 1873. Lorenz, Wied. Ann. **7**, 161, 1879. Emden, Arch. de Genève **27**, 342, 1892. Trowbridge, Sill. Journ. (3) **46**, 195, 1893. Busch, Wied. Ann. **59**, 595, 1896.

3) W. Holtz, Gött. Nachr. 1880, 345.

nähert, so dass die Strecke *a* 10 mm beträgt. Dieser Entlader, sowie die Flasche links werden mit den Konduktoren einer Influenzmaschine verbunden. Ausserdem werden die beiden Knöpfe der Flaschen durch ein mit Wasser gefülltes Glasrohr verbunden, so dass beide gleichzeitig geladen werden. Sobald die Spannung hinreichend gross geworden, erscheint ein Funke bei *a*, gleichzeitig aber auch bei der fast doppelt so grossen Strecke *b*. Es muss also die Flasche links während der Entladung bei *a* entgegengesetzte Spannung erhalten haben. [1])

A. A. C. Swinton[2]) brachte eine Glühlampe zum Glühen mittelst sehr schneller elektrischer Schwingungen, indem er Ladungs- und Entladungsstrom eines Kondensators von sehr kleiner Kapazität, bestehend aus zwei durch eine Glasscheibe getrennten Drahtspitzen, hindurch gehen liess. Bei der geringen Elektrizitätsmenge, die der Kondensator fassen kann, gehört eine ungemein grosse Zahl von Ladungen und Entladungen dazu um diejenige mittlere Stromstärke zu erzeugen, die die Lampe zum Glühen bringt.

Den oszillirenden Strömen setzt sich im Schliessungskreise, selbst wenn dieser einen völlig zu vernachlässigenden Widerstand hätte, der Widerstand der Selbstinduktion entgegen.

Biegt man daher einen Draht, durch welchen die Entladung einer Leydener Flasche hindurch geht, zu einer Ω-förmigen Schleife (Priestley 1769), so springt ein Funke da über, wo sich die beiden Theile des Drahtes am nächsten kommen, insofern der Widerstand der Selbstinduktion so beträchtlich ist, dass längs der Schleife etwa derselbe Spannungsabfall auftritt, wie längs einer schlechtleitenden Hanfschnur, wenn man diese an Stelle des Drahtes setzte.

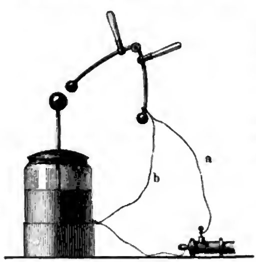


Fig. 290.

Zweigt man von zwei nahe neben einander gelegenen Stellen des Schliessungsdrahtes kurze Drähte ab und bringt deren Enden einander nahe, so schlägt auch zwischen diesen ein Funken über, da die elektrische Welle das eine derselben früher erreicht, als das andere.

Sehr deutlich zeigt dies folgender Versuch, der auch für die Lehre vom Blitze wichtig ist. An dem gewöhnlichen scheerenförmigen Auslader, Fig. 290, befestigt man zwei Drähte *ab*, wovon der eine *a* an den Knopf einer elektrischen Pistole, der andere *b* aber unmittelbar zum äusseren Belege der Flasche geführt wird, mit welcher auch die Pistole selbst verbunden ist. Wird *b* hinlänglich

1) Eine Theorie dieses Versuches giebt Koláček in Beibl. **7**, 541, 1883.

2) A. A. C. Swinton, Phil. Mag. **36**, 300, 1893.

stark genommen, so entzündet sich die Pistole nicht, wohl aber, wenn *b* ein dünner Draht ist. Man muss den Draht *b* etwas kurz nehmen und ihn beim Versuche gespannt halten, damit überall Berührung stattfindet, auch darf die Schlagweite in der Pistole nicht zu klein sein.

Man kann auch eine Geissler'sche Röhre oder ein kleines Glühlämpchen in den Nebenschluss zum Entladungskreis einer Leydener Flasche bringen, dieselben leuchten bei den Entladungen der Flasche hell auf.

Elektrische Schwingungen in dicken Leitern. Die ausserordentliche Vergrösserung des scheinbaren Widerstandes (Impedanz) bei hoher Wechselzahl zeigt Tesla[1]) mittelst einer dicken Kupferstange, welche wie Fig. 291 durch Glühlampen überbrückt und unter Zwischenschaltung einer Funkenstrecke in den Entladungskreis eines Kondensators eingeschaltet wird, dessen Belegungen mit den Klemmen eines Funkeninduktors in Verbindung stehen. Unter günstigen Verhältnissen zeigen sich auch elektrische Knoten in der Kupferleitung, indem einzelne Lampen hell leuchten, andere wenig. Selbst ein kurzer Kupferblock, durch welchen eine Glühlampe kurz geschlossen wird, hat so grosse Impedanz, dass letztere bei genügend hoher Wechselzahl zum Glühen gebracht wird.[2])

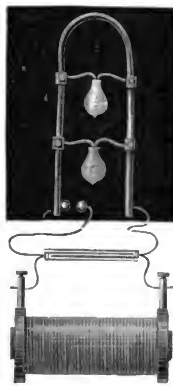


Fig. 291.

Zweckmässig verwendet man zu diesen Versuchen einen grossen Ruhmkorff'schen Funkeninduktor, in dessen Primärspulen Wechselstrom von einer ca. dreipferdigen Wechselstrommaschine eingeleitet wird. Die Elektroden werden mit den inneren Belegungen von zwei grossen Batterien Leydener Flaschen verbunden, deren äussere Belegungen durch den dicken Kupferdraht verbunden sind. Damit an den Kontaktstellen die Stanniolbelegung der Leydener Flaschen nicht verbrannt und das Glas erhitzt wird, ist es nöthig, die Flaschen innen einige Centimeter hoch mit Feil- oder Drehspänen zu füllen und aussen einen Blechreif oder einen Boden aus Bleiblech anzulegen, an welchen der Leitungsdraht mit einer Klemmschraube befestigt wird.

Das Gleiche folgt aus einem andern Versuche von Tesla.[3]) Durch eine Glühlampe mit geradem Kohlenfaden wurde Hochfrequenzstrom hindurchgeleitet. Zunächst kam wie gewöhnlich der Kohlenfaden zum Glühen, wurde aber die Wechselzahl erhöht, so erlosch derselbe und der Strom ging durch das um-

---

1) Siehe De Fodor, Experimente mit Strömen hoher Wechselzahl, Wien 1894.

2) Vgl. ferner Hertz, Ueber die Fortleitung elektrischer Wellen durch Drähte, Wied. Ann. **37**, 395, 1889.

3) Teslas Untersuchungen etc. Halle 1895. S. 195 u. 283.

gebende Gas, dasselbe wie beim Durchgang durch eine Crookes'sche Röhre zum bläulichen Leuchten erregend.

Der Versuch wurde in anderer Weise wiederholt, so dass das Gas innen und der Leiter (metallischer Überzug auf einer Vakuumröhre) aussen war. Während also der Strom in Folge der Selbstinduktion nicht durch die leitende Hülle hindurchzudringen vermochte, war dies wohl im Gase der Fall, und Tesla meint, dass es sogar vielleicht gelingen könnte, ein Gas im Innern eines an die Pole einer Hochfrequenzleitung angeschlossenen Kupferrohres zum Leuchten zu bringen.

Einige hierher gehörige Versuche habe ich in folgender Weise ausgeführt. Eine gewöhnliche Glühlampe wurde unter Zwischenschaltung von Funkenmikrometern an beiden Klemmen mit den Konduktoren der Hochdruckinfluenzmaschine verbunden, welche mit zwei Batterien von Leydener Flaschen von je etwa 0,005 Mikrofarad Kapazität in Verbindung standen.

So lange die Funkenmikrometer geschlossen waren, also der volle Strom der Influenzmaschine durch den Kohlenfaden ging, blieb derselbe dunkel. Wurden nun aber Funkenstrecken zu beiden Seiten eingeschaltet, so dass Ansammlung der Elektrizität in den Flaschen und oszillatorische Entladung eintrat, so kam derselbe zum hellen Glühen, da nun die Stromarbeit nicht mehr wie zuvor hauptsächlich zwischen den Saugerkämmen und Glasscheiben, sondern im Kohlenfaden geleistet wurde. Wurden die Funkenstrecken noch mehr vergrössert, so wurde der Kohlenfaden wieder dunkel, dagegen erstrahlte nun das verdünnte Gas in der Glasbirne in hellblauem Lichte.

Leitet man nach Tesla den mittelst des Oeltransformators erhaltenen Wechselstrom von hoher Frequenz durch eine Glühlampe mit geradem Kohlenfaden, so erlischt mit zunehmender Frequenz der Kohlenfaden, während das Gas in der Glashülle hell leuchtet und die Einführungsdrähte stark glühen, was darauf hinweist, dass unter diesen Umständen der Strom fast ausschliesslich durch das Gas, nicht durch den Kohlenfaden geht.[1])

Hierher gehört wohl auch ein eigenartiger Versuch von Jaumann.[2])

Der grosse Kondensator *A* (Fig. 292) wurde durch die Influenzmaschine *B* fortwährend geladen und durch den Entlader *e* in Form von Glimm- oder Büschelentladung ebenso kontinuirlich entladen. Während nun dieser Strom stationär war, wurde die Funkenstrecke *F* überbrückt, also der kleine Kondensator *C* durch den Entlader *e* entladen.

Vermuthlich war die Selbstinduktion des *A* und *B* enthaltenden Kreises zu grofs, als dass dort ein nennenswerther Theil der entladenen Elektrizitätsmenge hätte zum Ausgleich kommen können, somit das Vorhandensein der Batterie *A* auf die Aenderung der Spannung bei *e* keinen Einfluss haben konnte.

---

1) Dieser Versuch zeigt deutlich, dass die Entladung, wie S. 152 angegeben, falls sie eintritt, sich im Gase rascher vollzieht als die Strömung im Metall (oder an dessen Oberfläche).

2) Jaumann, Sitzb. d. Wien. Akad. **97**. (2), 765, 1888.

Die Elektroden von *e* erhielten also nahezu die gesammte Spannung der Belegungen von *C* einmal im entgegengesetzten Sinn wie die ursprünglich vorhandene, dann bei der nächsten Halbschwingung im gleichen Sinn, so dass dann die Spannung die doppelte, wie anfänglich war, somit eine kräftigere Entladung auftreten musste, welche soviel Metalldampf erzeugte, dass nun Umwandlung der Glimmentladung von *A* durch *e* in Funkenentladung möglich wurde.

Jaumann selbst äussert sich darüber: „Wird nun durch Zusammenschieben der Elektroden *F* die Hauptentladung eingeleitet, so ruft dieselbe einen 5 mm langen glänzend weissen Funken bei *e* hervor, welcher die ganze Batterie auslädt und in einem auffallenden Missverhältniss steht zu dem 0,5 mm langen, matten Funken *F*, welcher ihn veranlasst hat.

Das Experiment misslingt bei negativer Ladung der Batterie, d. h. wenn die in der Figur obere Belegung negativ, die andere zur Erde abgeleitet ist.

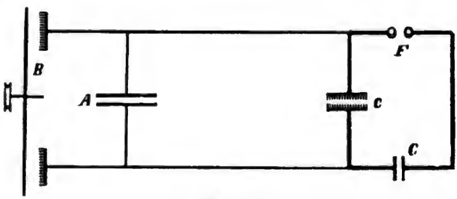


Fig. 292.

Durch die Zuschaltung des Kondensators *C* findet zunächst eine Herabsetzung des Potentials der Batterie um ein Promille statt, welcher nach der Halboszillation eine momentane Hebung um gleichen Betrag folgt. Ein Grund, warum die Potentialdifferenz bei *e* eine stärkere Schwankung ausführen sollte, ist nicht abzusehen. Eine allmähliche Hebung dieser Potentialdifferenz um solche oder auch weit höhere Beträge, etwa durch rascheres Spiel der Influenzmaschine, hat gar keinen sichtbaren Einfluss auf die Form der Entladung *e* und hebt ihre Stromstärke unbedeutend. Die hier beschriebene Hebung der Potentialdifferenz um 0,001 ihres Werthes aber, welche mit hoher Geschwindigkeit (in der Oszillationszeit) vor sich geht, bewirkt eine Hebung der Stromstärke auf einen Maximalwerth, welcher nicht nur nicht gleich, sondern von ganz anderer Grössenordnung (7 Ampère) ist, als der bei langsamer Vergrösserung der Potentialdifferenz um gleichen Betrag beobachtbare (10^{-4} Amp.)."

Jaumann ist der Ansicht, die Selbstinduktion spiele bei diesem Versuche keine Rolle, vielmehr beweise derselbe, dass nicht der Entladungsgradient allein, sondern das Produkt desselben mit der Geschwindigkeit der Potentialänderung den Eintritt der Entladung bedinge. Mir scheint dies nicht recht verständlich, da in *e* bereits Entladungen übergehen ehe die Schwankung erfolgt.

C. Sehr schnelle elektrische Schwingungen.

Elektrische Schwingungen, welche noch 100 mal schneller sind, als die bei der oszillirenden Flaschenentladung, also etwa mit nur hundertmilliontel Sekunden Schwingungsdauer, entstehen nach H. Hertz, wenn die Entladung zwischen zwei Stücken gut leitenden Drahtes stattfindet und die Zufuhr der Elektrizität eine genügend reichliche ist, um das Gas längs der Funkenstrecke während der Dauer der Oszillationen gut leitend zu erhalten. Zu diesen Versuchen ist deshalb ein grosser Funkeninduktor *A* (52 cm lang, 20 cm Durchmesser) nöthig, dessen Klemmen, wie Fig. 293 andeutet, mit zwei geradlinigen, je 1,3 m langen, 5 mm starken Kupferdrähten verbunden sind, welche bei *a*, wo die Entladung stattfindet, mit Messingkugeln von 3 cm Durchmesser und $^3/_4$ cm Abstand versehen sind. Zur Aenderung der Schwingungsdauer kann man noch verschieden grosse Konduktoren *B*, *C* (30 cm Durchmesser) in verschiedener Entfernung von der Funkenstrecke aufschieben.

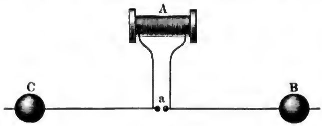


Fig. 293.

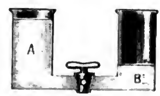


Fig. 294.

Nach gleichem Prinzip ist es gelungen, bis zu 50 Milliarden Schwingungen pro Sekunde zu erhalten. Wäre es möglich, Konduktoren von so minimalen Dimensionen herzustellen, wie sie die kinetische Gastheorie für die Gasmoleküle annimmt (Molekulardurchmesser circa 0,0000001 m), so wäre es möglich Schwingungszahlen von vielen Billionen pro Sekunde zu erhalten, also von gleicher Ordnung wie die Schwingungszahlen von Lichtwellen.[1])

Eine grosse Schwierigkeit bei den Versuchen mit elektrischen Wellen besteht darin, dem Oszillator konstant die nöthige Energiemenge zuzuführen, um die Schwingungen dauernd in gleicher Stärke zu erhalten. Bei dem von Hertz angewandten Apparate erfolgen die Stromwechsel des Funkeninduktors zu dem raschen Verlauf der elektrischen Schwingungen so langsam, dass der Effekt derselbe sein muss, als hätte man den Oszillator an eine konstante Elektrizitätsquelle, etwa eine Elektrisirmaschine oder Hochspannungs-Akkumulatorenbatterie angeschlossen.

Ueber die Wirkung einer solchen konstanten Elektrizitätsquelle orientirt man sich am einfachsten durch Heranziehung eines Gleichnisses.[2]) Werden zwei Wasserbehälter *A* und *B* (Fig. 294) von gleichen Dimensionen, aber un-

1) Ueber die Erzeugung äusserst rascher Wellen, bis vier Milliarden Schwingungen pro Sekunde, sei verwiesen auf A. Righi, Beibl. **18**, 135, 1893. Siehe ferner weiter unten unter elektrischer Strahlung.

2) Müller-Lehmann, Grundriss der Physik, S. 503, 1896.

gleichem Wasserstand, durch Oeffnen des Hahns der Verbindungsröhre plötzlich in Kommunikation gesetzt, so strömt das Wasser erst von A nach B, überschreitet vermöge seiner Trägheit die Ruhelage und kommt nun in B höher zu stehen als in A, strömt dann wieder von B nach A zurück, nun wieder von A nach B und so fort, bis die ganze vorhandene Energiemenge durch Reibung in Wärme umgewandelt ist. Wollte man die Schwingungen dauernd erhalten, so müsste man die beiden Behälter mit einer im gleichen Takte getriebenen Pumpe verbinden, welche Wasserstrom von wechselnder Richtung liefert, d. h. bald Wasser in A hinein- und aus B herauspumpt und dann wieder umgekehrt.

In gleicher Weise wäre zur Aufrechterhaltung der elektrischen Schwingungen des Oszillators eine Wechselstrommaschine erforderlich, welche Ströme von gleicher Frequenz wie der Oszillator liefert. Eine solche Maschine ist indess der grossen Schwingungszahl halber nicht herstellbar.

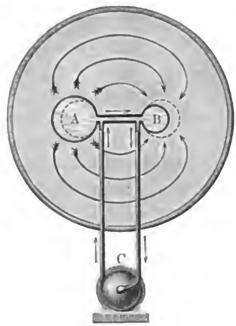


Fig. 295.

Würde man im Falle des hydraulischen Oszillators konstanten Strom in die Behälter A und B führen, so würde zwar die Niveaudifferenz der Wasserspiegel immer steigen, die Amplitude der Schwingungen aber in ganz ähnlicher Weise (nur rascher) abnehmen wie zuvor.

Gleiches gilt bei Anwendung des früher betrachteten Gleichnisses Fig. 19, wenn man auf irgend eine Weise eine Verschiebung der Gallerte im Sinne der Pfeile hervorgebracht hat und nun dieselbe sich selbst überlässt, so dass Schwingungen entstehen. Die Schwingungen werden allmählich in Folge von Reibungswiderstand erlöschen und können nicht dadurch erhalten werden, dass man etwa durch Anschalten der Zentrifugalpumpe C einen konstanten Strom durch den Cylinder leitet, wie Fig. 295 andeutet.

Man kann fragen, wie sind diese Ergebnisse in Einklang zu bringen mit der früher gemachten Annahme (S. 138), dass ein konstanter Strom dauernde Pulsationen hervorbringen könne?

Die Lösung ergiebt sich daraus, dass bei jenen früher betrachteten Pulsationen weniger die Selbstinduktion als der Ohm'sche Widerstand in Betracht kommt, der hier ganz vernachlässigt wurde. Auch wäre der Energieverlust durch Strahlung zu berücksichtigen.

Ist die Kapazität der Konduktoren sehr klein, der Widerstand der Zuleitungen sehr gross, so lässt sich der Fall denken, dass die Energie schon nach der ersten Halbschwingung völlig erschöpft ist. Die Entladung reduzirt sich in diesem Falle auf einzelne in regelmässigen Intervallen auf einander folgende Stromstösse, deren Zahl pro Sekunde durch die Kapazität der Kon-

duktoren sowie den Widerstand und die Selbstinduktion der Zuleitungen bestimmt ist.

Wäre beispielsweise die Kapazität der Konduktoren = C Farad, die Spannungsdifferenz = E Volt und der Widerstand der Zuleitungen = W Ohm, so ist die Ladung jedes Konduktors = $C \cdot E$ Coulomb, also wenn x die Zahl Entladungen pro Sekunde bedeutet, die Stromstärke = $x \cdot C \cdot E$ Ampère. Dieselbe beträgt aber auch, da die elektromotorische Kraft der Stromquelle E Volt betragen muss und eine mittlere Gegenkraft der Konduktoren von $^1/_2\ E$ Volt zu überwinden hat, $\frac{E}{2 \cdot W}$ Ampère, also muss sein:

$$x \cdot C \cdot E = \frac{E}{2 \cdot W}$$

$$\text{und } x = \frac{1}{2 \cdot C \cdot W}$$

d. h. die Zahl der Pulsationen ist umgekehrt proportional der Kapazität der Konduktoren und dem eingeschalteten Widerstand, einschliesslich des induktiven.

Sind nun die Elektroden mit den Belegungen eines grossen Kondensators verbunden, so kann sich über diese Pulsationen die Oszillation, welche durch die Kapazität des Kondensators bedingt ist, lagern, wir erhalten eine kombinirte Oszillation, bestehend aus den durch den Widerstand veranlassten äusserst raschen Pulsationen, für welche als Kapazität nur die Elektrodenenden in Betracht kommen und relativ langsame Oszillationen bedingt durch die Kapazität des Kondensators und die Selbstinduktion der Leitung, nur in geringem Maasse beeinflusst durch den Widerstand der letzteren.

Unsere Formel giebt nun für die Schwingungsdauer, wenn Kapazität Widerstand und Selbstinduktion gegeben sind, ein eindeutiges Resultat. Man kann also fragen, wie ist es möglich, dass unter denselben Umständen zwei verschiedene Schwingungsdauern möglich sind?

Wir müssen, um diese Schwierigkeit zu lösen, berücksichtigen, dass die Elektroden nicht wie beim Righi'schen Oszillator einfache Kugeln, sondern an die Elektrizitätsquelle angeschlossene längere Drähte sind.

Ist der Widerstand der Zuleitungen nicht sehr beträchtlich, so kann deren Kapazität nicht vernachlässigt werden, da sie gewissermaassen eine Fortsetzung der Konduktoren bilden.

Ist in diesem Fall der Entladungsgradient erreicht, so wird die Entladung zunächst an den Spitzen der Elektroden beginnen und zwar, da Stromlinien und dielektrische Rückverschiebung zusammenfallen, ohne den Widerstand der Selbstinduktion, also fast momentan. Nunmehr wird die Ladung der den Spitzen benachbarten Theile der Elektrodenoberfläche nachströmen und zwar, da für diese Funkenbahn und dielektrische Rückverschiebung nicht zusammenfallen, verzögert durch eine allerdings sehr geringe Selbstinduktion, welche im Verein mit der Kapazität der in Betracht kommenden Theile der Elektrodenoberfläche eine bestimmte Schwingungsdauer hervorzurufen sucht.

Inzwischen hat sich aber die elektrische Störung wieder auf eine weitere Zone der Elektrodenoberfläche erstreckt, es fliessen neue Elektrizitätsmengen mit grösserer Selbstinduktion und Oszillationsdauer nach, diesen folgen wieder noch weiter entfernte, somit noch mehr durch den induktiven Widerstand beeinflusste Massen u. s. w., bis die beiden den Zuleitungsdrähten entlang schreitenden Störungen sich schliesslich treffen und gegenseitig aufheben.

Das mechanische Analogon dieses komplizirten elektrischen Schwingungszustandes bilden die Schwingungen eines sogenannten physikalischen Pendels, welches aus zahlreichen einfachen mathematischen Pendeln von verschiedener Schwingungsdauer zusammengesetzt gedacht werden kann.

Ein solches Pendel wäre z. B. ein einfaches frei herunterhängendes, nicht durch ein Gewicht belastetes Seil. Dasselbe kann in verschiedener Weise schwingen, je nach der Art und Weise, wie es angestossen wird. Der einfachste Fall ist der, dass sich eine mittlere Oszillationsdauer herstellt, so dass es ebenso schwingt wie ein einfaches Pendel von geringerer Länge. Es kann aber auch sehr rasche Schwingungen ausführen in der Art, dass es sich in eine mehr oder minder grosse Zahl schwingender Abtheilungen theilt, wobei ähnlich wie bei einer schwingenden Saite die Länge dieser Abtheilungen durch lose Berührung eines Punktes mit einem feststehenden Körper, etwa einem Ring, durch welchen das Seil hindurchgezogen ist, bestimmt werden kann.

Gleiches gilt für die elektrischen Schwingungen. Die ganze Stromleitung kann sich (wie z. B. bei der Hertz'schen Vorrichtung für stehende Drahtwellen oder bei dem sog. Lecher'schen Drahtsystem) in eine mehr oder minder grosse Zahl schwingender Abtheilungen theilen, wobei sich die Länge der Abtheilungen durch Auflegen einer „Brücke“ reguliren lässt. Die Oszillationsdauer der Entladungen zwischen den Elektroden ist dann nicht die mittlere Schwingungsdauer des ganzen Systems, sondern nur diejenige einer einzelnen Abtheilung.

Das Entstehen der Abtheilungen könnte sowohl im Falle des schwingenden Seils, wie bei der elektrischen Leitung zurückgeführt werden auf die Interferenz direkter und reflektirter Wellen. Zur Erzeugung solcher Wellen wird das Seilende durch einen oszillirenden Körper (z. B. bei Melde's Apparat durch eine Stimmgabel) mit der erforderlichen Schnelligkeit hin und her bewegt, bei Lecher's Drahtsystem dagegen sind es die oszillatorischen Entladungen eines einfachen oder doppelten Kondensators, welche die Wellen erregen.

Einmal erregt, können die „Oberschwingungen“ aber auch wie z. B. bei einer Saite ohne weitere Mitwirkung des wellenerregenden Körpers andauern, bis die vorhandene Energie aufgebraucht ist. Sie können auch, durch einen Zufall entstanden, bewirken, dass sie durch ständig neu zugeführte Energie immer wieder verstärkt und hierdurch beliebig lange erhalten werden, wie z. B. die Schwingungen einer Orgelpfeife, welche durch abwechselndes Einsaugen und Herausblasen des Luftstroms aus der Röhre in der Nähe der Lippe

aus dem Luftstrom immer wieder neue Energie schöpfen, und deshalb nicht erlöschen, so lange dieser andauert. In wieviele schwingende Abtheilungen sich die Luftsäule einer Orgelpfeife theilt, ist namentlich von der Stärke des Luftstroms abhängig. Wird eine grosse, mehrere Meter lange Orgelpfeife mit Wind von gewöhnlichem nur wenige Centimeter Wasser messenden Druck angeblasen, so liefert sie einen sehr tiefen Ton. Der Ton schlägt plötzlich um, wenn der Druck verstärkt wird, die Pfeife ist „überblasen“, und verstärkt man gar den Druck bis zu mehreren Atmosphären, so erhält man sehr hohe, schrille Töne, wie von ganz kurzen Pfeifen, entsprechend der Bildung einer sehr grossen Zahl schwingender Abtheilungen.

Kann etwas Aehnliches auch im Falle der elektrischen Entladungen eintreten?

Ich glaube, dass man die oben besprochenen Pulsationen, welche bei konstanter Elektrizitätsquelle stattfinden, wie etwa die Pulsationen eines hydraulischen Widders bei konstantem Wasserstand, als Oszillationen von äusserst hoher Schwingungszahl deuten kann; die von Feddersen beobachteten als solche von relativ geringer. Das Auftreten von Kathodenstrahlen neben Glimmlichtstrahlen scheint darauf hinzuweisen, dass auch zweierlei Pulsationen von verschiedener Periode gleichzeitig auftreten können. Die oben (S. 346) zitirte Beobachtung von Th. Meyer (1858), dass Geissler'sche Röhren zuweilen mehrere Töne hören lassen, scheint darauf hinzudeuten, dass noch mehr Schwingungszustände gleichzeitig auftreten können.

Den normalen Fall, in welchem nur die unvermeidlichen, äusserst raschen Pulsationen und die Feddersen'sche Oszillation gleichzeitig stattfinden, wird man in Analogie bringen können zu der Funktion einer Zungenpfeife mit durchschlagender Zunge, welche beiderseits durch weite Windleitungen mit einem ausgiebigen Gebläse verbunden ist, welches auf der einen Seite blasend, auf der andern saugend wirkt und so einen konstanten Luftstrom hindurchtreibt.

Wir erhalten hierbei äusserst rasche Pulsationen durch die Wirkung der Zunge in der Pfeife und an deren Schwingungszahl wird sich nichts ändern, wenn wir die Kapazität der Luftbehälter ändern, ebensowenig wie an den Pulsationen der scheinbar stetigen Entladung in einer Geissler'schen Röhre, wenn wir die Kapazität der Elektroden durch Anschalten von Kondensatoren ändern.[1])

Untersuchen wir die Stetigkeit der Luftströmung in den Zuleitungen, so finden wir nur unmittelbar in der Nähe der Zunge äusserst rasche Pulsationen, in einiger Entfernung davon ist die Stärke der Stösse verschwindend klein, so dass sie sich der Wahrnehmung entziehen. Weil die Zunge als

---

1) Aus der Thatsache, dass unter gewissen Verhältnissen die Anschaltung eines Kondensators an die Elektroden eines Entladungsapparates keine Wirkung ausübt, darf man also meines Erachtens nicht (mit Hittorf und Hertz) den Schluss ziehen, der vorhandene Strom sei absolut stetig.

federndes Ventil wirkt, so wird der Strom (die Entladung) erst beginnen, wenn die Federkraft (die elektrische Festigkeit) durch den Luftdruck (die elektrische Spannung) überwunden wird. Alsdann wird der Strom scheinbar kontinuirlich, in Wirklichkeit regelmässig pulsirend, andauern, bis der Druck soweit gesunken ist, dass die Kraft der Feder wieder überwiegt, ganz wie im Falle der scheinbar stetigen elektrischen Entladung.

Ueber diese raschen Pulsationen, welche als Ton bemerkbar werden, würde sich nun aber gleich wie im Falle des in Fig. 294 dargestellten hydraulischen Apparates, wenn wir von Reibungswiderständen absehen könnten, noch eine weit langsamere Oszillation lagern, welche in erster Linie von der Trägheit der in Bewegung gerathenen Luftmassen abhängt.

Der eine Windkasten wird sich füllen, der andere entleeren, bis die erforderliche Druckdifferenz erreicht ist. Dann kommt die Pfeife in Thätigkeit, bis der Druck wieder unter die nöthige Grenze gesunken ist, um von neuem in Thätigkeit zu kommen, sobald die enge Windleitung wiederum soviel Luft in den Windkasten gefördert hat, dass der Druck der Feder überwunden wird. Dabei wird aber die Pfeife nicht nur so lange in Thätigkeit bleiben, bis der Luftdruck genau dem Federdruck entspricht, die Luft wird vielmehr vermöge ihrer Trägheit (Selbstinduktion) aus dem einen ursprünglich gefüllten Windkasten in den andern (zuerst entleerten) weiter hineinströmen, so lange bis eine völlige Umkehrung der Drucke stattgefunden hat; sodann wird ein Rückstrom erfolgen, dann wird die Luft wieder aus dem ersten in den zweiten Kasten und dann aus diesem wieder in den ersten zurückströmen. Wir erhalten also Luftschwingungen, deren jede aus zahlreichen Pulsationen besteht, ganz analog den elektrischen Schwingungen, deren jede sich aus zahlreichen Stromstössen zusammensetzt.[1])

59. Die Seitenentladungen.

Die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion im Schliessungskreise einer Leydener Flasche ist proportional der Zahl der pro Sekunde eintretenden oder austretenden magnetischen Kraftlinien.

Obschon nun die Zahl der letzteren, selbst im Maximum, eine sehr unbedeutende ist, kann dennoch die Spannung der Selbstinduktion sehr gross werden, da die Geschwindigkeit, mit welcher das magnetische Feld bei der Entladung verschwindet, ausserordentlich gross werden kann. Man könnte sogar bei der Plötzlichkeit, mit welcher die Entladung eintritt, vermuthen, dass sie auch unendlich gross werden könnte, was dann eine unendlich grosse induzirte Spannung ergeben würde.

1) O. L., Verh. d. Karlsruher nat. Ver. **12**, 1896.

Dass dies nicht möglich ist, ergiebt sich indess ohne weiteres aus der auf S. 152 angestellten Betrachtung. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Entladung vollzieht, steht in keinem Zusammenhange mit der Geschwindigkeit der Bildung des magnetischen Feldes, welches durch den Ladestrom erzeugt wird. Diese letztere, welche die Selbstinduktion bestimmt, wird um so grösser sein, je grösser die Leitungsfähigkeit des Schliessungskreises, sie wird aber auch dann nicht ∞ werden, wenn der Widerstand $= 0$ wird, da die grösste Geschwindigkeit, mit welcher sich die elektrische Störung dem Drahte entlang fortpflanzen kann, 300000 km pro Sekunde beträgt.

Dieser grösste Werth der Selbstinduktionskraft, welche sich ergeben würde für eine Leitung vom Widerstand 0, wäre, wie aus dem hydraulischen Analogon Fig. 294 S. 426 ohne weiteres sich ergiebt, der ursprünglichen Spannung auf den Belegungen der Leydener Flasche gerade gleich.

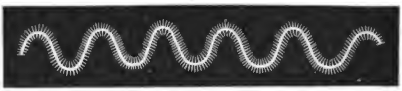


Fig. 296.

Ist nun letztere so geladen, dass der an die eine oder andere Belegung angeschlossene Schliessungsdraht keine Elektrizität ausströmen lässt, so sollte man erwarten, dass dies auch dann nicht geschehen wird, wenn die Entladung stattfindet, da trotz der im Drahte auftretenden Oszillationen die höchste Spannung, welche auftreten kann, günstigsten Falls der ursprünglichen gleich werden kann. Dies trifft indess keineswegs zu.

Entladet man nämlich die Leydener Flasche durch einen sehr dünnen Draht im vollkommen finsteren Zimmer (so dass auch der Funke verdeckt ist und sein Licht nicht blendet), so sieht man den Draht der ganzen Länge nach mit Lichtstrahlen besetzt, wie Fig. 296 zeigt, es tritt eine sogenannte Seitenentladung nach der Luft ein, wie schon van Marum bei seiner grossen Elektrisirmaschine beobachtete.[1])

Als van Marum auf das eine Ende eines $^1/_{75}$ Zoll dicken, am anderen Ende abgeleiteten Eisendrahtes Funken überspringen liess, zeigte sich der Draht seiner ganzen Länge nach mit flammendem Licht bedeckt, „welches aus kleinen Strahlen bestand, die aus dem Drahte an allen Seiten hervorkamen." Mit einem feineren Drahte gelang der Versuch noch besser. Das Material desselben schien indess ohne Einfluss. Beim Durchleiten des Entladungsschlages einer grossen Batterie (ibid. 265) war die Ausstrahlung so stark, dass beim Umhüllen des Drahtes mit Zunder dieser der ganzen Länge nach in Brand gesetzt wurde.[2])

1) Van Marum, Gilbert's Annalen I, 110, 1799.

2) Siehe Gehler's Wörterbuch **3**, 459.

Nähert man dem Drahte seitlich einen abgeleiteten Draht, so springt auf diesen ein Funke über.[1])

Seitenentladungen an Drähten im Vakuum beobachtete Vicentini.[2])

Nach Riess[3]) soll sich die Seitenentladung durch den Ueberschuss der Ladung der inneren Belegung über die der äusseren erklären. Sie wäre also eine Influenzwirkung.

Indess kann man die Erscheinung in anderer Form auch beobachten, wenn ein solcher Ueberschuss sicher nicht vorhanden ist. Jaumann weist auf eine derartige Beobachtung von Hertz hin.

„Hertz induzirt in einem einfachen, nur durch die Funkenstrecke unterbrochenen Stromkreis die zur Funkenentladung nöthige elektromotorische Kraft unter Umständen, welche die überschlagsweise Berechnung derselben erlauben. Er findet, dass die zu erwartende elektromotorische Kraft etwa 9 C. G. S. mech. beträgt; die damit erzielte Funkenlänge beträgt 7,5 mm, wofür unter den gewöhnlichen Umständen eine Potentialdifferenz von 85 C. G. S. mech. erforderlich ist."

„Hertz weist nur flüchtig auf die Möglichkeit hin, die Sache durch elektrische Resonanz zu erklären. Vielleicht steht aber einer solchen Erklärung der sekundären elektromotorischen Kraft die starke Dämpfung entgegen, welche der primäre Stromstoss in seiner Funkenstrecke erleidet (Erhitzung derselben bis zur Weissgluth)."

Die nächstliegende Deutung scheint mir zu sein, dass auch hier elektrisirte Luftschichten eine Rolle spielen. Geht der Entladungsstrom durch den Schliessungsdraht, so wird zunächst durch Glimmentladung an seiner Oberfläche eine elektrische Luftschicht gebildet. Kehrt sich nun die Stromrichtung in Folge der Oszillation um, so wird diese elektrische Luftschicht die Entladung begünstigen und an Stelle von Glimmlicht erscheint Büschelentladung.

Aehnlich erklärt sich vielleicht eine Beobachtung von Nairne.[4]) Derselbe findet es nothwendig, bei grossen Batterien dem Schliessungsdraht genügende Länge (bis 5 Fuss) zu geben, um das Zerbrechen einzelner Flaschen durch Selbstentladung während der Entladung der Batterie zu hindern. Wahrscheinlich steht dies mit der Ausbildung starker Potentialgefälle im Glase in Folge der bei der Entladung durch kurzen Draht auftretenden raschen Oszillationen in Zusammenhang. Diese Oszillationen geben sich durch büschelartige Ausstrahlungen aus den Rändern der Belegungen auf die Glasfläche hin kund, zu deren Entstehung ebensowenig ein Grund vorliegt, wie zur Entstehung der Spitzenentladungen, wenn man nicht den Uebergang der Elektrizität von den

1) Hierher gehören auch die grossen Büschelentladungen, welche von den Enden der Sekundärspule eines Tesla-Transformators ausstrahlen.

2) Vicentini, Rend. Lincei 1, 57, 1892. Vgl. auch Moser u. J. J. Thomson, Beibl. **14**, 409 u. **15**, 661. Ferner Phil. Mag. (5) **1**, I, 143.

3) Riess, Pogg. Ann. **77**, 465, 1849.

4) Nairne, siehe Cavallo Abhandlungen 136, 1786.

Belegungen auf die angrenzende Glasoberfläche in Betracht zieht. Die eingedrungene Elektrizität bewirkt bei Umkehr der Stromrichtung (in Folge der Oszillation) die Entstehung der Büschel.

Diese Büschelentladungen am Rande der Belegungen von Leydener Flaschen sind schon vor langer Zeit unter dem Namen der „elektrischen Rose“ bekannt gewesen und insbesondere von Poggendorff[1]) und Villari[2]) studirt worden.

Sehr schön gestalten sich die Strahlen bei Rosetti's Apparat.[3]) Man belegt eine Glasplatte in ihrer Mitte auf einer Seite mit einem kreisrunden Stanniolblatte von etwa 5 cm Durchmesser und bringt auf der Mitte derselben senkrecht einen Draht an, der von der einen Seite einer Holtz'schen Maschine kommt und dem gegenüber auf der unbelegten Seite des Glases den anderen Pol der Maschine. Die Glasplatte spielt dann die Rolle einer Leydener Flasche und die Entladungen derselben erfolgen mehr oder weniger rasch, je nach der Entfernung der Konduktoren der Maschine. Man sieht bei jeder Entladung auf der Glasplatte leuchtende, meist dendritisch verzweigte, den Lichtenberg-schen Figuren ähnliche, hellglänzende Figuren, welche verschieden sind, je nach dem Pole, welcher mit dem Stanniol in Verbindung steht. Prachtvoll gestaltet sich der Versuch, wenn man statt der Elektrisirmaschine einen grossen mit Wechselstrom gespeisten Funkeninduktor anwendet.

E. R. Müller (1884) setzt die Belegungen einer Franklin'schen Tafel aus gleich breiten parallelen Stanniolstreifen zusammen, welche ebenfalls gleich breite Lücken zwischen sich lassen. Die Streifen der einen Belegung liegen den Lücken der anderen gegenüber. Bei der Entladung füllen sich die Zwischenräume zwischen den Stanniolstreifen mit zahlreichen längs der Glasoberfläche gleitenden Funken.

Hierher gehört wohl auch die nachfolgende Beobachtung von A. Töpler[4]) über Entladungen der Leydener Flasche zwischen Spitzenkonduktoren auf wohlgetrockneten, sehr zart berussten Glasflächen:

„Bei 4 bis 6 cm Funkenlänge ist die Spur im Allgemeinen ein etwa 3 mm breiter, heller Streifen mit dunkler Achse, dadurch entstanden, dass die Russpartikel theils zur Seite geschleudert, theils zur Achse hingewandert und dort angehäuft sind (Tafel X Fig. 7). Auf dieser Spur findet sich ferner eine meistens sehr auffällige knotenartige Verdickung, woselbst die seitliche Luftbewegung mit ganz besonderer Heftigkeit stattgefunden hat, eine Stelle im Funken, welche mir schon früher[5]) bei optischen Beobachtungen aufgefallen war. Diesseits und jenseits dieser Stelle ist die Funkenspur durchaus verschieden. Auf der Seite des positiven Konduktors ist die Funkenbahn meistens

1) Poggendorff, Pogg. Ann. **133**, 153, 1868.
2) Villari, Mem. di Bologna (4) **2**, 101, 1880 und Beibl. **9**, 804, 1885.
3) Rosetti, Fortschr. d. Phys. **28**, 658, 1872.
4) A. Töpler, Sitzb. d. Wien. Akad. 1874, 105.
5) A. Töpler, Pogg. Ann. **134**, 1868. Vgl. S. 233.

büschelartig abgezweigt, auf der negativen nicht. Untersucht man die Spur bei 15—20facher Vergrösserung, so zeigt sich auf der positiven Seite, nie aber auf der negativen, in der dunklen Achse des Funkenweges häufig eine sehr feine, dunkle Zickzacklinie, ähnlich einer mikroskopischen Sinuskurve von 0,12 bis 0,13 mm Wellenlänge. Aus den Buchten dieser Linie treten seitlich äquidistante, helle Streifen hervor, welche im Sinne der positiven Elektrizitätsbewegung gegen die Funkenachse geneigt sind. Diese mikroskopische Struktur, deren Regelmässigkeit zuweilen überraschend ist, findet sich auch oft eben so deutlich auf den feinen Seitenzweigen, welche von der positiven Seite der Funkenstrecke hervorbrechen. Ich bemerke noch, dass die Russtheilchen, welche jene Struktur zeigen, auf der Glasfläche gewissermaassen fixirt sind, denn wenn man (mit einem feinen Pinsel etwa) die Russschicht wegnimmt, so bleibt der zentrale, dunkle Streifen in der Funkenachse haften, wobei allerdings die mikroskopische Feinheit des Bildes zerstört wird."

Das Entstehen der Zickzacklinie kann wohl nur auf alternirenden Ladungen der Glasoberfläche beruhen. Vielleicht hängt dasselbe zusammen mit einer im Funken auftretenden Schichtung, obschon solche bisher allerdings nur bei Funken im Vakuum beobachtet wurde (vgl. Fig. 5 u. 6, Taf. I).

Aehnliche sonderbare Figuren[1]) erhielt Antolik (Fig. 276), als er vor dem Berussen des Papiers mit Goldfarbe eine Zickzacklinie aufzeichnete, welcher der Funke alsdann folgte.

In stark verdünnter Luft befolgt der Funke den ihm mit Goldfarbe vorgezeichneten Weg nicht.

Wie bereits angegeben sind nach Mach die eigenthümlichen V-förmigen Strahlen durch Explosionswellen bedingt.[2])

v. Lepel[3]) dagegen bringt die Ausstrahlungen der Antolik'schen Figuren in Analogie mit den Seitenentladungen, welche van Marum an einem dünnen stark elektrisch geladenen Draht beobachtet hat. „Nach E. Mach und Wosyka[4]) hat man die Antolik'schen Russfiguren auf Luft- speziell Schallbewegungen zurückzuführen. Das mag dahingestellt bleiben. Jedenfalls leuchten die Ausstrahlungen . . . die photographische Platte fixirt sie."

Righi[5]) ist der Ansicht, dass auch die langen Funken, welche auf einer Wasseroberfläche erhalten werden können, als Seitenentladungen aufzufassen sind.

---

1) Siehe Mach und Wosyka, Pogg. Ann. **156**, 407, 1875.

2) Beobachtungen über Explosionswellen von Funken mittelst bestäubter Platten machte auch Cook, Phil. Mag. (5) **26**, 291, 1888.

3) v. Lepel, Wied. Ann. **39**, 367, 1890.

4) E. Mach und Wosyka, Pogg. Ann. **156**, 407, 1875.

5) Righi, Rend. Acc. Lincei (5) **4**, I, 191, 1895. Vgl. auch M. Töpler, Abh. d. naturw. Ges. Isis, Dresden 1897, Heft I.

60. Elektrische Resonanz.

Die Wechselströme, welche im Schliessungsdrahte einer Leydener Flasche oder eines anderen Kondensators bei oszillirender Entladung entstehen, vermögen natürlich in benachbarten Leitern Induktionsströme zu erregen, wie andere Wechselströme und sind die Windungszahlen von primärer und sekundärer Leitung einander gleich, ist also das Uebersetzungsverhältniss = 1, so ist die induzirte Spannung der primären Spannung annähernd gleich wie bei einem gewöhnlichen Transformator. Sie verdoppelt sich, wenn die Windungszahl der sekundären Leitung verdoppelt wird u. s. w.

Bequem zur Ausführung des Versuches sind die Induktionsscheiben von Riess, zwei kreisförmige Holzplatten mit spiralförmigen Nuthen, in welche mit Siegellack Kupferdrähte eingekittet sind. Die eine Kupferdrahtspirale dient als induzirende, die zweite, im anderen Brett enthaltene, als induzirte Leitung.



Fig. 297.

Man kann nach Fig. 297 die beiden Bretter unter Zwischenfügung einer Glasscheibe aufeinanderlegen oder die eine an einer passenden Führung, etwa einem in der Mitte der anderen befestigten Stab, verschiebbar machen, wobei die Glasscheibe unnöthig ist und zugleich der Abstand der Scheiben veränderlich gemacht werden kann.

Werden die Konduktoren einer Influenzmaschine mit zwei grossen Leydener Flaschen verbunden, deren äussere Belegungen durch einen Draht mit einander in Verbindung stehen, und wird letzterem eine kleine Rolle Guttapercha-Kupferdraht genähert, deren Enden etwa 2 bis 3 cm von einander abstehen, so springen zwischen diesen Funken über, in gleichem Takte, wie zwischen den Konduktoren der Maschine.

Lässt man zwischen letzteren einen starken Luftstrom hindurchgehen, so folgen sich die Funken etwas langsamer und der Knall ist lauter, die Länge der Induktionsfunken bleibt aber ungeändert. Ersetzt man aber den kalten Luftstrom durch einen heissen, so wird die Schlagweite der Induktionsfunken erheblich reduzirt. Bringt man gar eine Flamme zwischen die Konduktoren, so erscheint die Induktion fast völlig aufgehoben, da durch die Flamme die Entladungsdauer so sehr vergrössert wird, dass die Zahl der pro Sekunde in die sekundäre Windung eintretenden oder dieselbe verlassenden magnetischen Kraftlinien, welche die Grösse der induzirten elektromotorischen Kraft bestimmt, zu sehr vermindert ist, um noch die Entladungsspannung erzeugen zu können.

In ähnlicher Weise mag die durch den Funken selbst erzeugte Wärme wirken. Vergrössert man die Kapazität der angewandten Flaschen, so steigt

zunächst die Schlagweite der Induktionsfunken bis zu einem Maximum, nimmt dann wieder ganz beträchtlich ab, so dass also die vermehrte Stromintensität durch die verminderte Schnelligkeit der Oeffnung des Stromes wirkungslos gemacht wird.

H. Hertz[1]) wurde durch diese Erscheinungen zur Auffindung seiner berühmten Methode zum Studium der Ausbreitung der elektrischen Kraft geleitet, wie er selbst schreibt: „In der physikalischen Sammlung der Technischen Hochschule zu Karlsruhe, wo ich diese Versuche ausführte, hatte ich zu Vorlesungszwecken ein Paar sogenannter Riess'scher oder Knochenhauer'scher Spiralen vorgefunden und benutzt. Es hatte mich überrascht, dass es nicht

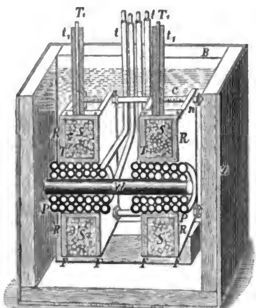


Fig. 298.

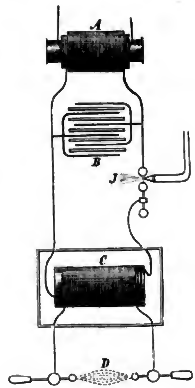


Fig. 299.

nöthig war, grosse Batterien durch die eine Spirale zu entladen, um in der andern Funken zu erhalten, dass vielmehr hierzu auch kleine Leydener Flaschen genügten, ja der Schlag eines kleinen Induktionsapparats, sobald nur die Entladung eine Funkenstrecke zu überspringen hatte. Indem ich die Verhältnisse abänderte, fiel mir die Erscheinung der Nebenfunken auf, von welchen die folgende Untersuchung ausgeht."

Eine Verbesserung der Riess'schen Induktionsscheiben ist Tesla's sog. Oeltransformator zur Erzeugung von Hochfrequenzströmen (Fig. 298). Die Primärwicklung *PP*, bestehend aus zwei Spulen von je vier Lagen zu 24 Windungen, ist auf einen Holzcylinder *W* aufgewickelt. Die Sekundärspulen *SS* sind auf Hartgummikästen, welche durch Schraubbolzen und Muttern aus Hart-

1) H. Hertz, Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft, Leipzig 1892, S. 2.

gummi in ihrer Lage gehalten werden, aufgewickelt. Der hohle Raum T jedes Kastens hat 8 cm inneren Durchmesser und ist mit 26 Lagen zu 10 Windungen bestisolirten Drahtes bewickelt.[1]) Die beiden Hälften der Sekundärwicklung sind entgegengesetzt gewunden. Die Drahtenden t, t_1, T_1 beider Spulen sind in Hartgummiröhren eingeschlossen. Das Ganze ist vollständig bis auf die Drahtenden in Oel[2]) eingesenkt, welches sich in einem eventuell mit Blech ausgeschlagenen Holzkasten z befindet.

Den Gebrauch des Apparates zeigt Fig. 299 (nach E. Thomson). A ist ein mit gewöhnlichem Wechselstrom gespeister Funkeninduktor, dessen Klemmen unter Zwischenschaltung einer Funkenstrecke J mit der primären Spule des Oeltransformators C verbunden sind, dessen sekundäre Klemmen mit dem Entlader D in Verbindung stehen. Im Nebenschluss zu den sekundären Klemmen des Induktors A ist der Kondensator B angebracht. Zur Erhöhung der Wirkung wird das Zustandekommen eines Lichtbogens in der Funkenstrecke J entweder mittelst eines Gebläses oder durch einen genäherten Magneten, dessen Pole durch Glimmerüberzug gegen Ueberspringen von Funken geschützt sind, unmöglich gemacht.[3])

Auch im Kleinen kann man einen Tesla'schen Oeltransformator ausführen, derart, dass man durch die primäre Windung die Entladungsschläge einer durch einen Ruhmkorff'schen Funkeninduktor gespeisten Leydener Flasche leitet. Die sekundäre Spule wird mit den Elektroden eines Henley-schen Entladers in Verbindung gesetzt. Zwischen letzteren gehen dann Funkenströme ähnlich wie bei einer Influenzmaschine über. Berührt man eine Elektrode mit der Hand und hält in der anderen Hand ein elektrodenloses Vakuumrohr, so kommt dieses in Folge der durch den Körper hindurchgehenden Ladungs- und Entladungsströme zum hellen Leuchten.

Himstedt[4]) giebt nähere Anweisungen zur Ausführung des Versuchs, welchen ich Folgendes entnehme: „Von Wichtigkeit für das gute Gelingen der Versuche ist ein sicher arbeitender Interruptor und ein passendes Funkenmikrometer. Als Unterbrecher habe ich den zum Ruhmkorff gehörenden Foucault'schen Unterbrecher mit 8 bis 12 Unterbrechungen in der Sekunde benutzt. Das Quecksilber wurde ersetzt durch ein zähes Zinkamalgam und auf dieses gutes Maschinenöl gegossen, so dass die Unterbrechung unter Oel stattfand. Als Funkenmikrometer habe ich nach einander alle möglichen Metalle

---

1) Es ist diejenige Sorte Guttaperchadraht zu wählen, bei welcher die Guttapercha am Draht anhaftet, also keine Luftschicht zwischen Draht und Isolationsmasse vorhanden ist, in welcher alternirende Entladungen stattfinden und den Draht erwärmen können.

2) Wesentlich ist, dass das Oel durchaus rein und staubfrei ist. Es darf deshalb auch nicht mit Natrium oder Phosphorsäure getrocknet werden.

3) Einen vollständigen Apparat dieser Art liefern E. Ducretet & L. Lejeune in Paris, Rue Claude-Bernard 75, in drei Grössen zu bezw. 1938, 1278 und 410 Francs. Ein Oeltransformator allein kostet 125 Francs.

4) Himstedt, Wied. Ann. **52**, 473, 1894.

versucht und schliesslich zu meiner Ueberraschung die besten Resultate mit Zink erhalten. Der Funke springt zwischen den abgerundeten Enden von zwei Zinkstäben von 5 mm Durchmesser über. Ich habe Monate lang damit gearbeitet, ohne je zu putzen oder zu ändern.

Die primäre Rolle (des Tesla-Transformators) bestand aus 10 Windungen eines 4 mm dicken Drahtes, der in einer Schraubenlinie von etwa 1 cm Steighöhe auf ein Glasrohr von 4 cm Durchmesser gewickelt war. Ueber die primäre Spule war ein dickwandiges Glasrohr (besser 6 mm starkes Hartgummirohr) geschoben und auf dieses die sekundäre Rolle gewickelt. Ich habe Spulen von 50 bis 1000 Windungen versucht, die besten Resultate mit 200 Windungen eines 1 mm dicken Drahtes erhalten. Bei dem Aufwickeln hatte man zwei gleiche Drähte neben einander auflaufen lassen und den einen dann wieder abgewickelt. Der ganze Transformator lag in einem mit Maschinenöl gefüllten Steingutgefässe horizontal auf zwei Hartgummistützen."

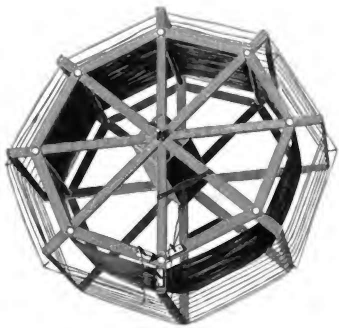


Fig. 300.

Der Transformator, dessen ich[1]) mich bei den früher beschriebenen Versuchen zur Erzeugung der Hochfrequenzströme bediente, war ein von mir selbst hergestellter Induktionsapparat (Fig. 300) mit Luftisolation, welcher mehr Aehnlichkeit mit der ursprünglichen Riess'schen Anordnung als mit der Tesla'schen besitzt. Auf dem aus Holz und Glasröhren zusammengesetzten Gestell ist aussen eine primäre Leitung von 10 Windungen, innen in ca. 25 cm Abstand von der ersteren die sekundäre von 100 Windungen eingetragen. Die Funkenlänge der letzteren beträgt 32 cm.[2])

Hierher gehört auch das Blondlot'sche Verfahren zur Erzeugung sehr schneller Schwingungen, welches weiter unter besprochen wird.[3])

Werden nach Lodge (1890) zwei nach Art einer Maassflasche eingerichtete Leydener Flaschen *A* und *B* (Fig. 301) derart gegenübergestellt, dass die

1) O. L., Elektrizität und Licht, S. 288, 1895.

2) Ein kleiner Lufttransformator zur Erzeugung von Hochfrequenzströmen nach Elster und Geitel wird von Müller-Unkel in Braunschweig geliefert. Ein ähnlicher von F. Ernecke in Berlin. (Vgl. die Abbildung unter „Röntgenstrahlen.") Mittelst eines ähnlichen Apparates (300 Windungen sekundär, $1^1/_2$ primär) erzeugten die Herren Eitner und Bleidorn in Karlsruhe bis 75 cm lange Funken.

3) Vgl. Drude, Wied. Ann. 55, 633, 1895 und weiter unten S. 455.

Schliessungskreise parallel verlaufen, und wird die eine Flasche mit einer Influenzmaschine in Verbindung gesetzt, so entladet sich bei jeder Entladung der ersten Flasche in Folge der induzirenden Wirkung ihres Schliessungskreises auf den der zweiten auch die letztere, vorausgesetzt, dass die Schliessungskreise und Flaschen kongruent sind. Verstimmt man aber das zweite System, indem man den Schliessungskreis durch Verschieben eines beweglichen Gleitstücks *s* verlängert oder verkürzt, so tritt die Resonanz nicht mehr ein. Ebenso hindert Zwischenschieben eines Metallschirmes zwischen die beiden Apparate die Induktion, während Glas- oder Holzplatten ohne Einfluss sind.

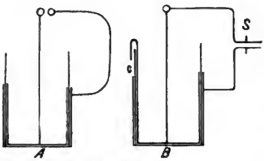


Fig. 301.

Wird nach Hertz, wie bei Fig. 302, ein Stromleiter *abcd* in Form eines Quadrates von 75 cm Seitenlänge (bestehend aus 2 mm starkem Kupferdraht)

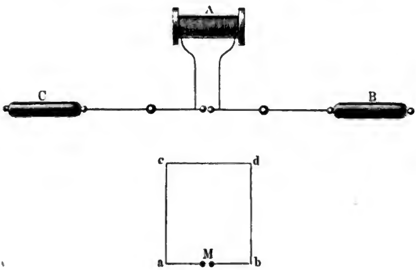


Fig. 302.

in 30 cm Abstand von dem Oszillator *ABC* auf Siegellackstangen isolirt aufgestellt, so entstehen an dem in die Mitte der dem Entladungsapparat abgewendeten Seite eingeschalteten Funkenmikrometer *M* Fünkchen bis zu 0,9 mm Länge. Berührt man die beiden Pole des Entladungsapparates mit isolirten Metallkugeln von 8 cm Durchmesser, wodurch die Schwingungsdauer der primären Oszillationen geändert wird, so kann bei passender Annäherung der Kugeln die Funkenlänge des sekundären Kreises auf 2,5 mm gebracht werden, berührt man dagegen mit sehr grossen Konduktoren, so sinkt die Funkenlänge auf einen kleinen Bruchtheil eines Millimeters. Werden die beiden Konduktoren des Funkenmikrometers mit den Platten eines Luftkondensators verbunden, so wirkt Annäherung derselben ebenso zunächst förderlich, dann schädlich. Aehnlich wirkt Verschiebung der Konduktoren *B* und *C*. Werden diese einander auf 1,5 m genähert, so erreicht die Funkenlänge das Maximum von 3 mm, bei weiterer Annäherung sinkt sie auf 1 mm. In allen Fällen wird die grösste

Wirkung erhalten, wenn die Schwingungsdauer im primären und sekundären Kreise die gleiche ist, wenn elektrische Resonanz vorhanden ist.

Es ist klar, dass in dem sekundären Leiter ein Schwingungsknoten in der Mitte der Seite *cd* sein muss, indem die stärksten Oszillationen des Potentials an den Mikrometerkugeln stattfinden, schwächere an Stellen in der Nähe derselben und gar keine in der Mitte des Stromleiters. Man kann dies nachweisen durch Annähern einer kleinen Kugel, auf welche, wenn sie den Polen des Funkenmikrometers genähert wird, relativ starke Funken überspringen, von den erwähnten Knotenpunkten dagegen nahezu gar keine. Noch leichter gelingt der Nachweis in folgender Art. Man regulirt den induzirten Stromleiter auf Resonanz mit dem primären, zieht die Kugeln des Funkenmikrometers so weit auseinander, dass gerade eben noch Funken überspringen. Stört man nun die Resonanz durch Berührung des Stromleiters mit einer isolirten Kugel, so verschwinden im Allgemeinen die Funken, sie werden aber nicht zum Erlöschen gebracht, wenn man die Kugel an den Knotenpunkt ansetzt.

Die Demonstration der Hertz'schen Versuche wird wesentlich erschwert durch die Kleinheit der die Induktionswirkung anzeigenden Funken. Man hat deshalb auf verschiedene Weise gesucht, dieselben direkt oder indirekt deutlicher zur Wahrnehmung zu bringen.

Hertz selbst benutzte zuweilen eine Art Hitzdrahtgalvanometer mit Spiegel, von welchem ein Lichtstrahl reflektirt wird.[1])

Eine gute Methode wurde auf Grund eines Vorschlages von Warburg durch Zehnder ausgebildet.

---

1) Bartoniek (1890) verwendet statt des Funkenmikrometers am Resonator eine kleine Glühlampe, deren Kohlenfaden durch Unterbrechung desselben unbrauchbar geworden ist. Kleine Geissler'sche Röhren aus Uranglas sind ebenfalls, doch weniger brauchbar.

Nach Boltzmann (1889) kann man die Funkenstrecke zwischen ein Elektroskop und den nicht abgeleiteten Pol einer vielplattigen Volta'schen Säule (Batterie) einschalten. Sobald die Funken auftreten, geht die Elektrizität der Säule auf das Elektroskop über und die Blättchen divergiren.

Auch Froschschenkelpräparate, welche durch ihre Zuckungen eine elektrische Klingel in Thätigkeit setzen, sind (von Kundt) verwendet worden.

Rubens (1891) bediente sich des Bolometers zum Nachweis Hertz'schen Schwingungen, Bjerknes (1891) gebrauchte Elektrometer, Klemenčič (1892) das Thermoelement. Blondlot (1892) vermochte die Funken in dem sekundären Leiter durch gewisse neue Anordnung der Aufstellung erheblich zu verlängern. Birkeland (1892) gebraucht das Telephon, welches natürlich nicht die Schwingungen als solche, sondern die durch das Auftreten der Funken bedingten Schwingungen der Telephonplatte zur Wahrnehmung bringt.

Lucas und Garett (1892) machten die Hertz'schen Funken einem grösseren Zuhörerkreise dadurch sichtbar, dass sie dieselben in einer senkrechten, oben offenen, unten geschlossenen Glasröhre überspringen liessen, in welcher durch Elektrolyse von Salzsäure Chlorknallgas entwickelt wird. So oft ein Funken überspringt, erfolgt eine Detonation.

2) Zehnder, Wied. Ann. **47**, 77 und **49**, 549, 1893.

Die Funkenstrecke befindet sich in der Nähe der Kathode im Inneren einer Geissler'schen Röhre, deren Elektroden mit einem Akkumulator von ca. 600 Planté-Elementen in Verbindung stehen. So oft eine Entladung in der Funkenstrecke stattfindet, erfolgt bei richtiger Regulirung der Spannung an den Elektroden der Röhre eine weithin sichtbare Streifenentladung des Akkumulators in der Geissler'schen Röhre, welche wieder aufhört, sobald die Hertz'schen Entladungen in der Funkenstrecke aufhören.

Bezüglich der Einzelheiten bemerkt Zehnder Folgendes:

Die Versuchsordnung ist die in Fig. 303 dargestellte.

A ist die Akkumulatorenbatterie, *B* die Geissler'sche Röhre, *f* die Funkenstrecke, *II* und *II* die sekundären Hertz'schen Leiter, W_1 und W_2 regulirbare Widerstände, *m* und *n* Quecksilberstromschlüssel.

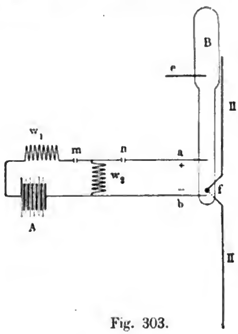


Fig. 303.

Um konstante Resultate zu erzielen, wird in die Röhren nach Warburg's Methode metallisches Natrium eingeführt. Hierzu wird die Erweiterung *B* der Röhre nach dem Auspumpen bis auf etwa 1,5 mm Druck in auf 300° erwärmtes Natriumamalgam eingetaucht und mittelst der Elektrode *e* Akkumulatorstrom in der Richtung von Natriumamalgam zur Elektrode *e* durch die Glaswand hindurchgeleitet. In Folge Absorption des Sauerstoffs durch das in die Röhre wandernde metallische Natrium sinkt dabei der Druck auf 1,2 mm. Die lichte Weite der Röhren beträgt 7 mm; da, wo die Elektroden eingeschmolzen sind, sind kleine Kugeln angeblasen. Die Aluminiumdrähte, welche die Hertz'sche Funkenstrecke bilden, müssen in sehr kleinem Abstande stehen (ca. 0,02 mm).

Die Widerstände W_1 und W_2 bestehen aus U-förmigen Röhren von bezw. 7 und 5 mm lichter Weite mit Kadmiumelektroden, von welchen die im längeren Schenkel verschiebbar ist. Sie werden mit konzentrirter Lösung von Jodkadmium in Amylalkohol gefüllt. Die Länge der Flüssigkeitssäulen lässt sich von 0 bis 20 bezw. 15 cm reguliren.[1])

Zur Vermeidung der Kondensation von Feuchtigkeit auf den Primärleitern und der Anhäufung von Staub, welche das Zustandekommen der wirksamen oszillatorischen Funken hindern, empfiehlt Zehnder, die Primärleiter mit einem geschlossenen Pappdeckelgehäuse mit Glasfenstern zu umgeben, in welchem die Luft durch einen Napf mit Schwefelsäure trocken gehalten wird. Es gelang

---

1) Vakuumröhren und Widerstände sind gebrauchsfertig zu beziehen von Glasbläser J. Kramer in Freiburg i. B., die Akkumulatorenbatterie von Mechaniker Fr. Klingelfuss in Basel.

nicht nur Stunden, sondern Tage lang genügende Wirkungen ohne Putzen der nur aus Messing (nicht Platin) bestehenden Konduktoren zu erzielen.

P. Drude kombinirte das Zehnder'sche Verfahren mit dem Boltzmann-schen, indem er die Hertz'sche Funkenstrecke in einer Zehnder'schen Röhre einerseits mit den beiden Polen einer Zamboni'schen Säule andererseits mit Knopf und Gehäuse eines Elektroskops verband. Das Auftreten der Hertz-schen Fünkchen verursachte dann Entladung der Trockensäule, somit Zusammenfallen der Blättchen des Elektroskops.[1]

Das beste Reagens auf Schwingungen ist der von Lodge[2] zuerst benutzte „Cohärer", d. h. eine mit Metallspänen gefüllte Glasröhre, in welche Drähte zur Zuleitung des Stromes eines kleinen Elementes hineinragen. In die Leitung wird ein empfindliches Galvanometer eingeschaltet. Wie zuerst Branly[3] beobachtete, wird der zunächst sehr hohe Widerstand einer solchen Säule von Metallpulver bedeutend erniedrigt, sobald elektrische Wellen dieselbe treffen, das Galvanometer zeigt also eine bedeutende Verstärkung des Stromes an. Um den anfänglichen Zustand wieder herzustellen, ist es nöthig, die Glasröhre zu erschüttern.[4]

Nach Rutherford[5] kann auch die partielle Entmagnetisirung von feinen Stahlnadeln, um welche ein kleines Solenoid gewickelt ist, zum Nachweis der Wirkung dienen, und zwar mit solcher Empfindlichkeit, dass man noch in $^1/_2$ Meile Entfernung vom Erreger das Vorhandensein derselben konstatiren kann.

61. Elektrische Wellen.

A. Stehende Wellen.

Durch die besprochenen Vorrichtungen ist es möglich, rasche elektrische Schwingungen zu erregen. Werden solche am Anfang einer längeren Leitung erregt, so pflanzen sie sich in derselben fort, ähnlich wie mechanische Wellen an einem Seil, oder Wasserwellen in einer Wellenrinne.

Kommen zwei in verschiedenen Leitungen fortschreitende elektrische Wellenzüge zusammen, so bilden sich naturgemäss Interferenzerscheinungen, ebenso wie bei Seil- oder Wasserwellen.

1) Näheres siehe in Drude, Wied. Ann. **52**, 499, 1894.

2) Lodge, The work of Hertz and some of his successors, London 1894.

3) Branly, C. R. **111**, 785, 1890, **112**, 90, 1891; Aschkinass, Wied. Ann. **57**, 408, 1896, van Gulik, Beibl. **21**, 140, 1897.

4) Bekanntlich hat Marconi dieses Verfahren zur „Telegraphie ohne Drähte" verwerthet. Näheres siehe unter „elektrische Strahlung."

5) Rutherford, Beibl. **20**, 1006, 1896.

Diese elektrischen Wellenzüge und Interferenzerscheinungen wurden zuerst von W. v. Bezold bei Erzeugung Lichtenberg'scher Staubfiguren beobachtet.[1])

Die Resultate, zu welchen v. Bezold gelangte, sind folgende:

„1. Bietet man einer elektrischen Entladung nach Durchbrechung einer Funkenstrecke zwei Wege zur Erde dar, einen kürzeren und einen längeren, durch eine Probeplatte[2]) unterbrochenen, so findet bei kleinen Schlagweiten eine Theilung des Entladungsstromes statt. Bei grösseren Funkenstrecken hingegen schlägt die Elektrizität nur den kurzen Weg ein und reisst sogar aus dem andern Zweige gleichnamige Elektrizität mit sich fort.

2. Sendet man einen elektrischen Wellenzug in einen am Ende isolirten Draht, so wird derselbe am Ende reflektirt und Erscheinungen, welche diesen Vorgang bei alternirenden Entladungen begleiten, scheinen ihren Ursprung der Interferenz der ankommenden und reflektirten Wellen zu verdanken.

3. Eine elektrische Entladung pflanzt sich in gleich langen Drähten gleich rasch fort, ohne Rücksicht auf das Material, aus welchem diese Drähte bestehen.“

Die Entstehung der Nebenfunken, von welchen Hertz in der S. 437 zitirten Stelle seines Buches spricht, und welche den Ausgangspunkt seiner Untersuchungen bildete, wird durch Fig. 304 veranschaulicht. Wird der viereckige Draht *abcd*, welcher bei dem in Fig. 304 dargestellten Versuche als sekundärer Stromleiter diente, mit einem der Drähte des Entladungsapparates durch einen beliebigen Draht in Verbindung gesetzt, so pflanzen sich die elektrischen Schwingungen in ersteren in diese Seitenleitung hinein fort und verzweigen sich in die beiden Theile des viereckigen Leiters zu beiden Seiten der Ansatzstelle. Sind diese, wie in der Figur angenommen, gleich, so kommen die Wellen gleichzeitig an den beiden Kugeln des Funkenmikrometers *M* an, es kann also kein Funken entstehen. Dies ist aber möglich, wenn die Ansatzstelle nicht symmetrisch liegt, und man beobachtet in der That Funken (3 bis 4 mm lang), die um so stärker ausfallen, je grösser die Wegdifferenz der beiden Wellen.

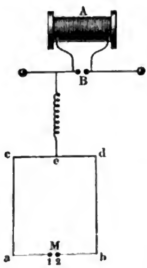


Fig. 304.

„Einmal zeigt nun dieser Versuch, dass im Augenblicke der Entladung nicht nur im eigentlichen Schliessungskreis, sondern auch in allen mit demselben verbundenen Leitern heftige elektrische Bewegungen stattfinden. Zweitens aber zeigt er..., dass diese Bewegungen so schnell verlaufen, dass schon die Zeit, in welcher elektrische Wellen kurze metallische Leiter durchsetzen, merklich in Betracht kommt.... Bedenkt man, dass sich nach allem, was wir

1) W. v. Bezold, Pogg. Ann. **140**, 541, 1870, zum Theil abgedruckt in Hertz, Untersuchungen über die Ausbreitung elektrischer Kraft, Bonn 1892, S. 59.

2) d. h. eine isolirende Platte, auf welcher Lichtenberg'sche Figuren erzeugt werden.

wissen, elektrische Wellen in Kupferdrähten nahezu mit Lichtgeschwindigkeit fortpflanzen, so kann die Erscheinung billig in Verwunderung setzen. Es erschien mir deshalb der Mühe werth, zu untersuchen, welche Umstände für das Zustandekommen lebhafter Funken im Mikrometer günstig wären. Des kürzeren Ausdruckes halber wollen wir diese Funken im Gegensatze zu der eigentlichen Entladung als ‚Nebenfunken‘ und den Schliessungskreis des Mikrometers als ‚Nebenkreis‘ bezeichnen.“ [1])

Die Fig. 305 stellt einen weiteren Apparat dar, mittelst dessen Hertz nun die Bildung fortschreitender und stehender Wellen in einem geraden Drahte näher untersuchte.

Ein primärer Leiter, bestehend aus zwei quadratischen Messingplatten *AA'* (Fig. 305) von 40 cm Seitenlänge, welche durch einen 60 cm langen Kupfer-

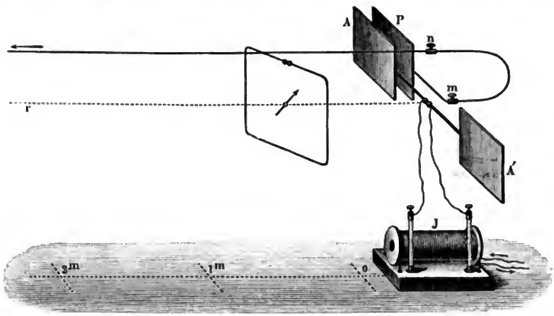


Fig. 305.

draht verbunden sind, in dessen Mitte sich die Funkenstrecke befindet, ist 1,5 m über dem Fussboden in einem geräumigen Saale aufgestellt. Hinter die Platte *A* ist eine gleich grosse Platte *P* gesetzt und von der letzteren ein 1 mm starker Kupferdraht über *m* und *n*, etwa 30 cm über der Funkenstrecke, geradlinig und senkrecht zur Ebene von *AA'* etwa 60 m weit fortgeführt und dann an eine Erdleitung angeschlossen. Dass in diesem Drahte fortschreitende Wellen entstehen, kann nachgewiesen werden durch Annäherung des viereckigen Stromleiters mit Funkenmikrometer, da die Entladungen der Funkenstrecke von einem feinen Funkenspiel des Mikrometers begleitet werden, und zwar am deutlichsten wenn der sekundäre Leiter auf die Oszillationen in der primären Leitung abgestimmt ist; die fortschreitenden Wellen sind also von gleicher Schwingungsdauer wie die primären.

1) Hertz, Wied. Ann. **31**, 421, 1887.

Wird der Draht auf etwa 8 m Länge abgeschnitten, so werden die Wellen vom freien Ende reflektirt und bilden mit den ankommenden stehende Schwingungen; denn man beobachtet mit Hilfe des sekundären Leiters in Abständen von etwa 2,8 m (gleich der halben Wellenlänge) Knotenpunkte, d. h. Orte, wo das Mikrometer funkenlos bleibt. Aus der Schwingungsdauer (1,4 hundertmilliontel Sekunden) ergab sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Wellen im Drahte zu 200 000 km pro Sekunde.

Genauere Resultate (speziell den Werth 300 000 km für die Geschwindigkeit, ergab folgende von Lecher (Wied. Ann. **41**, 850, 1890) angegebene Methode, welche sich zugleich für Demonstration eignet.[1])

A und *A'* (Fig. 306) sind quadratische Blechplatten von 40 cm Kantenlänge; sie sind mittelst eines 100 cm langen Drahtstückes verbunden, das in der Mitte durchschnitten ist und daselbst in *F* zwei Messingkugeln von ca. 3 cm Durchmesser enthält. Die beiden Messingkugeln haben einen Abstand von ca. 0,75 cm von einander und stehen mittelst eines dünnen Drahtes in Verbindung mit den Polen eines sehr kräftigen Induktoriums, dessen Rolle eine Länge von 35 cm und einen Durchmesser von 18 cm hatte. Den Platten *A* und *A'* gegenüber stehen zwei gleich grosse Platten *B* und *B'* in einer Entfernung von etwa 4 cm. Von diesen Platten *BB'* führen zwei Drähte gegen *s* und *s'* und von da parallel bis *t* und *t'*. Der Abstand der parallelen Drähte von einander sei 30 cm (zwischen 10 und 50 cm); die Länge *st* 600 cm (mindestens 400 cm), der Durchmesser dieser parallelen Drähte 1 mm. An den Enden *t* und *t'* ist je eine Schnur befestigt, welche in der Verlängerung der Drähte noch etwa 100 cm weiter führt und ein leichtes und bequemes Spannen derselben ermöglicht.

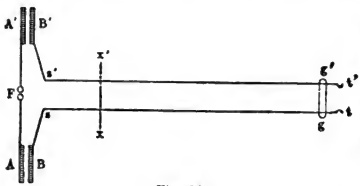


Fig. 306.

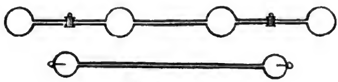
Ueber die Drahtenden *t* und *t'* legt Lecher eine ausgepumpte Glasröhre *gg'*, welche am besten mit Stickstoff und einer Spur Terpentinöldampf gefüllt ist[2]) und die Stelle eines zwischen *t* und *t'* zu setzenden, weniger gut wirkenden Funkenmikrometers vertritt. In Folge der Potentialschwankungen bei *t* und *t'* kommt die Röhre zum Leuchten.

1) Ueber Lechers Drahtsystem siehe ferner: A. Töpler, Wied. Ann. **46**, 464, 642, 1892, Cohn und Herwagen, Wied. Ann. **43**, 343, 1891, E. Wiedemann und Ebert, Wied. Ann. **48**, 549, 1893, E. Salvioni, Ricerche sull' ond. el staz. Perugia, 1893; R. Apt, Wied. Ann. **61**, 293, 1897.

2) Die Geissler'sche Röhre muss unter einer grösseren Anzahl ausgesucht werden. Für Demonstrationszwecke können die Elektroden derselben mit den Drahtenden verbunden werden, für Messungen dagegen soll sie elektrodenlos sein. Solche Röhren (Fig. 308 und 309) liefert Franz Müller in Bonn.

Legt man nun quer über die Drähte einen metallischen Leiter (Fig. 307) so sollte man annehmen, dass nun der Ausgleich der Elektrizität durch diese gut leitende Brücke stattfinden, also die zu ihr im Nebenschluss liegende Geissler'sche Röhre dunkel bleiben sollte. Im Allgemeinen tritt dies auch ein; bei bestimmter Stellung der Brücke xx' (an einem sogenannten Knotenpunkte) dagegen leuchtet die Röhre fast ebenso hell wie zuvor, indem der hinter der Brücke xx' (Fig. 308 u. 309) liegende Leitungskreis $xx'gg'$ sich in Resonanz befindet zu dem von oszillatorischen Strömen durchflossenen Kreise $AA'xx'$ vor der Brücke, oder indem die von dem Strome $AA'xx'$ erzeugten Kraftlinien, welche durch $xx'gg'$ hindurchgehen, in letzterem System induzirte Ströme hervorrufen, die selbst wieder umgekehrt auf $AA'xx'$ induzirend wirken und so


Fig. 307.


Fig. 308 und 309.

einige Male ein Hin- und Herpendeln der Elektrizität in dem System veranlassen, derart, dass die Stromrichtungen zu beiden Seiten der Knotenpunkte x und x' entgegengesetzt sind.

Werden die Leitungsdrähte genügend lang genommen, so kann man auf ihnen mehrere solche Knotenpunkte erhalten, und zwar ohne dass es nöthig wäre, weitere Brücken überzulegen. Verstimmt man die Abtheilung $xx'gg'$ durch Anhängen von Stanniolfahnen oder Zufügen von Drahtstücken an den Enden, so muss die Brücke an eine andere Stelle geschoben werden, um die Röhre wieder zum Leuchten zu bringen.

Die Fig. 307 stellt den Querbügel mit seinem Holzgriff in $^1/_{10}$ seiner natürlichen günstigsten Grösse (Länge 42 cm) dar. Macht man denselben länger, so werden die Erscheinungen weniger ausgeprägt, die Röhre bleibt schliesslich immer hell (weil dadurch der Stromkreis $AA'xx$ vergrössert wird), macht man ihn kleiner, so bleibt schliesslich die Röhre immer dunkel, da zu wenig Kraftlinien aus $AA'xx'$ in $xx'gg'$ hineintreten.

Die Kapazität des Kondensators AB und $A'B'$ soll möglichst gross sein, damit die Schwingungen in den Drähten kräftig ausfallen, macht man ihn aber zu gross, so hört die ganze Erscheinung auf.

Die Kugeln bei F müssen stets gut polirt sein und werden deshalb zweckmässig exzentrisch angebracht, so dass man durch Drehen derselben leicht neue Partien der Oberfläche in die Funkenbahn bringen kann.

Die Länge der Funken bei F ist ohne Einfluss, so lange sie nicht zu gross werden, wobei die Oszillation ganz aufhört, oder zu klein, wobei die Potentialschwankung eine zu kleine wird.

Bilden sich mehrere Knotenpunkte aus, so kann man alle gleichzeitig überbrücken, ohne das Leuchten der Röhre zu stören.

Bringt man an t und t' die Platten eines Kondensators an, z. B. eines Luftkondensators nach Kohlrausch, so ändert sich die Lage der Knotenpunkte je nach der Kapazität; man kann demnach die Methode auch benutzen, um Kapazitäten oder Dielektrizitätskonstanten zu vergleichen.

Bringt man eine elektrodenlose Vakuumröhre mit einem Draht in Berührung und fährt mit derselben dem Draht entlang, so leuchtet dieselbe jeweils auf, so oft sie auf einen Knotenpunkt trifft und erlischt an den Schwingungsbäuchen. Man verwendet hierzu nach Voller am besten Uranglasröhren mit verdünntem Kohlenwasserstoff von ca. 1 mm Druck gefüllt, mit äusseren Stanniolbelegen.

Eine Untersuchung über den Einfluss des primären Erregers auf Form und Intensität der elektrischen Schwingungen im Lecher'schen System hat R. Apt[1]) ausgeführt. Die Methode der Untersuchung war die von Rubens[2]) angegebene bolometrische.

Es ergab sich in Uebereinstimmung mit der Theorie von Cohn und Herwagen[3]), dass primäres und sekundäres System als ein einziges schwingendes System anzusehen sind, welches an den Brücken des sekundären Leiters und an der Funkenstrecke Knoten der Potentialschwankung besitzt. „Bei irgend welcher Erregung an der Funkenstrecke finden Maxima der Schwingungsintensität jedesmal dann statt, wenn die durch die Brücken gebildeten Abtheilungen des sekundären Leiters untereinander und mit den beiden Abtheilungen, in welche das primäre System durch die Funkenstrecke getheilt wird, in Resonanz stehen."

B. Seitenentladungen.

Lodge[4]) benutzte die bei starken Schwingungen an den Drähten auftretenden Seitenentladungen[5]) zur Messung der Wellenlänge.

Arons brachte diese Seitenentladungen deutlicher zur Anschauung, indem er deren Auftreten durch Umgeben der Drähte mit verdünnter Luft begünstigte.



Fig. 310.

Er schliesst zu diesem Zwecke Drähte in ein auf 10 bis 20 mm Quecksilber evakuirtes Glasrohr von 2,5 m Länge und 6 cm Durchmesser ein (Fig. 310). Die beiden Aluminiumdrähte von 2 mm Durchmesser sind in 3 cm Abstand

1) R. Apt, Wied. Ann. **61**, 293, 1897.

2) Rubens, Wied. Ann. **42**, 154, 1891 und Paalzow und Rubens, Wied. Ann. **37**, 529, 1889.

3) Cohn und Herwagen, Wied. Ann. **43**, 343, 1891.

4) Lodge, Proc. Roy. Soc. Lond. **50**, 2, 1891.

5) Siehe S. 431.

gezogen und zu zwei in etwa 3,5 m vom Glasrohr entfernten Zinkplatten geleitet, welche den erregenden Platten gegenüberstehen. Zwischen Glasrohr und Zinkplatten befindet sich eine verschiebbare Brücke auf den Drähten, ebenso im Glasrohr, da wo der Hahn angesetzt ist. Die Drähte bleiben an den Knotenstellen dunkel, leuchten dagegen an den Bäuchen, wie in der Figur angedeutet, in bläulichweissem Lichte.

Tesla [1]) erwähnt eine ähnliche Beobachtung. Ein durch eine mässig evakuirte Röhre gezogener Draht theilte sich beim Anschliessen an den Hochfrequenztransformator in regelmässiger Weise in helle (glühende) und dunkle Abtheilungen.

Ich selbst beobachtete einmal an einer im Vakuum befindlichen, ca. 1,5 m langen, mit positivem Glimmlicht bedeckten Elektrode die Ausbildung von etwa acht gleichlangen hellen Abtheilungen, als eine kleine Funkenstrecke vorgeschaltet wurde.[2])

Nach G. Jaumann wäre auf derartige stehende Wellen die Erscheinung zurückzuführen, dass häufig die Entladung nicht nur von der Spitze, sondern auch von anderen Stellen, insbesondere auch von der Rückseite oder von Aushöhlungen der Elektroden ihren Ausgang nimmt, obschon dort, wenn nur die statische Potentialvertheilung in Betracht käme, die Spannung zur Entladung unzureichend sein müsste.

Hierher gehören die von Jaumann [3]) beobachteten Glimm- und Büschelentladungen unter Anwendung der folgenden eigenthümlich geformten Elektroden.

„Die eine Elektrode bildet einen Hohlcylinder von 3 cm Radius und 12 cm Länge, die andere einen in der Achse desselben gespannten dünnen Draht von sorgfältig gereinigter Oberfläche. Ist letzterer mit der positiven Elektrode verbunden, so bedeckt er sich mit einer dünnen Schicht äusserst gleichmässig leuchtenden positiven Glimmlichts.

Bei Vorschaltung einer Mikrometerfunkenstrecke von mindestens 0,8 mm Länge bietet das entstehende Büschel ein glänzendes Bild. Es besteht aus zahlreichen, radialen, vollkommen geradlinigen Funken, welche von dem Entladungsdraht bis an den Cylinder reichen und von welchen viele den Glanz schwacher Influenzmaschinenfunken besitzen. Zwischen ihnen erscheinen eine Menge feinerer Strahlen, welche den Ableitungscylinder nicht erreichen. Ausserdem bemerkt man das Glimmlicht, welches nicht wesentlich verändert den Draht bedeckt.

Bei Verkleinerung der Mikrometerfunken werden die Büschelstrahlen kürzer, lichtschwächer und zahlreicher. Das Glimmlicht gewinnt dabei desto mehr Helligkeit, je mehr das Büschel an solcher verliert. Bei 0,1 mm Mikrometerdistanz ist nur mehr das innere Drittel der Büschelfunkenstrecken leuch-

1) Tesla, Untersuchungen über Mehrphasenströme, Halle 1895, S. 362.
2) O. L., Elektrizität und Licht, S. 297, 1895.
3) Jaumann, Sitzb. d. Wien. Ak. **97**, IIa, 247, 1888.

tend, sie bilden dann eine mattleuchtende Hülle von 1 cm Radius, unregelmässig cylindrischer äusserer Begrenzung und feinfaseriger Struktur, welche ein dunklerer Raum vom Glimmlicht trennt.

Bei weiterer Verkleinerung der Mikrometerfunken schwächt sich das Büschel nicht mehr weiter ab, sondern es verschwindet plötzlich." [1])

Bei anderen Versuchen war die eine Elektrode ein System zweier grosser paralleler Platten, zwischen welchen die andere, eine kleine Kugel, mitten hineingeschoben wurde.

„Ich verwendete als Kugelstiel einen 0,1 mm starken Silberdraht, welcher, durch einen Glasfaden isolirt, in eine feine Bohrung einer gut gearbeiteten Kugel von 9 mm Durchmesser eingeführt wurde und sie etwas hinter ihrem Mittelpunkte leitend berührte.

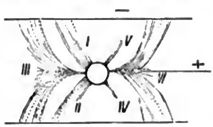


Fig. 311.

Ausser den (zu erwartenden) Büscheln *I*, *II* und *III*... sieht man (Fig. 311) drei weitere Büschel *IV*, *V* und *VI*, welche der Stellung und Form nach fast genau symmetrisch sind zu den ersten drei Büscheln in Bezug auf die Aequatorebene der Kugel.

Das Büschel *VI* ist gestielt und in der Form etwas durch den Glasfaden modifizirt, längs dessen Oberfläche sein Stiel eine Strecke weit kriecht. Die

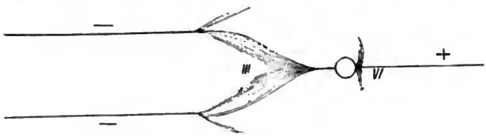


Fig. 312.

Büschel *IV* und *V* sind bald schwächer, bald stärker ausgebildet als die Büschel *I* und *II*, aber immer vorhanden, so lange nur die Platten überhaupt noch in der Nähe sind.

Entfernt man die Kugel von den Platten (Fig. 312), so verschwinden die Büschel *I*, *II*, *IV* und *V* und es bleiben die Büschel *III* und *VI* entweder gleichzeitig bestehen oder sie alterniren mit einander.

Der Form nach sind sie jetzt ebenso wie die entsprechenden Kraftlinien unsymmetrisch [2]) und hat die Entladung, namentlich wenn das Büschel *VI* allein auftritt, ein geradezu paradoxes Aussehen.

1) „Vergleiche damit den plötzlichen Uebergang der anscheinend kontinuirlichen Glimmentladung in verdünnten Gasen in diskontinuirliche Entladung, wenn ein vorgeschalteter Widerstand einen bestimmten Werth überschreitet (Hertz, Wied. Ann. **19**, 796, 1883)."

2) „Das Büschel *VI* ist, feinfaserig und wie ein Federbusch umgestülpt, ein ungemein zierlicher Anblick."

Die Stellung der Büschel *I* und *VI* wird durch den Verlauf des Zuleitungsdrahtes nicht oder nur wenig beeinflusst. Biegt man den Glasfaden und damit den Silberdraht gleich nach seinem Austritt aus der Kugel rechtwinklig um, so sitzt das Büschel *VI* abermals im Zuleitungspunkt, das Büschel *I* diametral gegenüber. Die ganze Erscheinung ist also symmetrisch angeordnet in Bezug auf die Hauptrichtung, nach welcher die Ladungs- und Entladungsströme in der Kugel verlaufen.

Es erklärt sich nun auch der elektrostatische Einfluss der Platten und des Kugelstieles auf Stellung und Vorhandensein dieser Büschel....

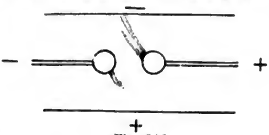


Fig. 313.

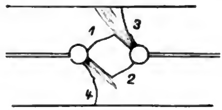


Fig. 314.

Fig. 313 zeigt einen Fall, in welchem durch Vergrösserung des Potentialgefälles an der positiven Elektrode das Büschel *III* hintangehalten wird. Die ganze Aufstellung ist in Bezug auf das Ladungszeichen symmetrisch, die Entfernung der Kugeln von einander kann auch kleiner sein als ihre Entfernung von den Platten.

Von allen sechs Büscheln bleibt jetzt jeder Kugel nur ein vorderes Seitenbüschel, welches gegen die entgegengesetzt geladene Platte gerichtet ist.

Springen in diesem Falle Funken, so haben sie die Anordnung 1, 2, 3, 4 (Fig. 314). Righi (Wied. E. und Magn. 4, § 864) hat mit derselben Aufstellung gearbeitet, aber nur die Funken 1 und 2 gesehen, deren Krümmung er beschreibt. Ein Blick auf obenstehende Zeichnung erklärt dieselbe. Jeder Funke geht von seiner negativen Elektrode längs eines Seitenbüschelstrahles aus. Die vier Funken stellen beiläufig die kürzesten möglichen Büschelstrahlen dar.

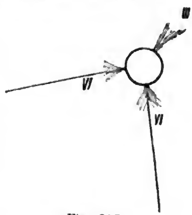


Fig. 315.

Versieht man die Kugel mit zwei gegen einander geneigten Zuleitungsdrähten (Fig. 315), so sitzen die Büschel in der Symmetrieebene der Zuleitungen, auch wenn das Ende der einen von ihnen isolirt ist. Es gelingt dies mit dicken und sehr feinen Zuleitungsdrähten. Bei feinen, mit Glasfäden bedeckten Drähten bilden sich ausserdem am Eintrittspunkte eines jeden die Büschel *VI*.

Ein mit Wasser gefüllter Glasfaden, ja auch ein feuchter Glasfaden wirkt fast ebenso wie eine Zuleitung und zeigt ausserdem das Büschel *VI*. Ein trockener Siegellackfaden hat keine Wirkung.

Auf Veranlassung des Herrn Prof. E. Mach habe ich noch die Aufstellung in der Weise getroffen, dass die feingearbeiteten, voll ausgedrehten Kugeln

isolirt aufgestellt und durch die Zuleitungsdrähte nur berührt wurden. Aendert man nun die Lage der Zuleitungspunkte auf der Kugel, so ändern die Büschel in entsprechender Weise ihre Stellung, auch wenn man den Zuleitungspunkt sehr rasch längs der Kugeloberfläche verschiebt."

Ist eine Elektrode eine grosse hohle Halbkugel, die andere eine kleine konzentrische Kugel, so geht nach Jaumann[1]) bei Vorschaltung 1 mm grosser Funken, unabhängig von der Art der Ladung, das Büschel nur gegen die Mitte der Hohlkugel, die Ränder werden frei. Die Entladung findet also nicht entsprechend dem Verlauf der Kraftlinien statt.

Was nun die Erklärung dieser Erscheinungen anbelangt, so kann man natürlich nicht annehmen, dass die gesammte Ladung der Elektroden sich in so heftigem Schwingungszustand befindet, dass an derselben Stelle einmal positive, dann wieder negative Büschel ausgesandt werden, wie es der Fall sein müsste, wenn die leuchtenden Strahlen an den Schwingungsbäuchen lediglich durch den Schwingungszustand hervorgerufen wären. Es würde dies auch der Beobachtung widersprechen, welche nur positive Büschel erkennen lässt.

Man muss also annehmen, dass sich hier zwei Vorgänge superponiren, die gewöhnliche Entladung durch die statische Ladung und die Schwingungen. Der Potentialgradient, welcher durch die statische Ladung erzeugt wird, ist an sich unzureichend, die grossen Büschel hervorzubringen. Ebensowenig würde das durch die Schwingungen erzeugte Potentialgefälle für sich allein dazu ausreichen. Da aber, wo beide Kräfte in gleichem Sinne zusammenwirken, wird der Entladungsgradient wirklich erreicht und man wird also die betr. Stellen vorausberechnen können, wenn man berücksichtigt, dass das wirkliche Potentialgefälle die Summe des statischen und des dynamischen ist.[2])

1) Jaumann, Wien. Ber. **97** (2), 765, 1888.

2) Jaumann sucht die Erscheinungen anders zu erklären. Er nimmt an, dass die Entladung nicht allein bedingt sei durch den Entladungsgradienten, sondern das Produkt desselben mit dessen Aenderungsgeschwindigkeit (vgl. unter „Theorien"). Speziell bezüglich der in den Figg. 311 und 312 auf S. 450 dargestellten Erscheinungen bemerkt er Folgendes:

„Die Vertheilung der Intensität der Potentialschwankungen über die Kugeloberfläche braucht keine gleichmässige zu sein. Berücksichtigt man die induktiven Wirkungen der innerhalb der Kugel verlaufenden elektrischen Schwingungen (in Bezug auf deren Hauptschwingungsrichtung, wie erwähnt, die Entladungspunkte auf der Kugeloberfläche symmetrisch angeordnet sind), so lässt sich erwarten, dass in dem Eintrittspunkte *VI* derselben und in dem gegenüberliegenden Kugelpol *III* die Amplitude, sei es nun der Potentialschwingung, sei es der Dichteänderung, ein Maximum, in der Aequatorebene hingegen sehr klein ist, dass also die Intensität der Potentialschwankungen über die Kugeloberfläche vertheilt ist, etwa wie der Cosinus des Polwinkels.

Das Potentialgefälle an der Kugeloberfläche hingegen wächst längs der Kugelmeridiane etwa wie der Sinus des Polwinkels, am stärksten aber in jenem Meridian, welcher auf den Platten senkrecht steht.

Das Produkt der beiden hat also auf der Kugeloberfläche einen maximalen Werth in vier Punkten, welche etwa 45° Poldistanz haben müssen, und welche auf

C. Magnetische Wirkung dielektrischer Verschiebung.

Hertz hat seinen Oszillator auch benutzt zum Nachweis, dass dielektrische Verschiebung in gleicher Weise magnetische Kraftlinien, d. h. Induktionswirkungen erzeugt, wie gewöhnlicher Leitungsstrom. Da wir schon mehrfach von diesem Satze, der sich anderweitig schwer nachweisen lässt, Gebrauch gemacht haben, möge dieses Verfahren hier noch kurz beschrieben werden.

Die Fig. 316 zeigt die wesentlichsten Theile des von Hertz (1887) ersonnenen Apparates, welche man sich noch durch ein leichtes Holzgestell verbunden zu denken hat.

Der primäre Leiter AA' besteht aus zwei quadratischen Messingplatten von 40 cm Seitenlänge, welche durch einen 70 cm langen, $^1/_2$ cm starken Kupferdraht verbunden sind. In der Mitte des letzteren ist eine $^3/_4$ cm lange Funkenstrecke eingeschaltet, deren Pole gut polirte Messingkugeln bilden. Diese werden mit den Polen eines grösseren Induktionsapparates verbunden, wie bei den Versuchen auf S. 426. Der sekundäre Leiter B ist ein genauer Kreis von 35 cm Radius aus 2 mm starkem Kupferdrahte, unterbrochen durch das Funkenmikrometer f. Da bei den gewählten Dimensionen Resonanz zwischen dem primären und sekundären Leiter besteht, so können bei günstiger Lage des sekundären Leiters in dem Mikrometer Funken von 6 bis 7 mm Länge erhalten werden. Um das Mikrometer an ver-

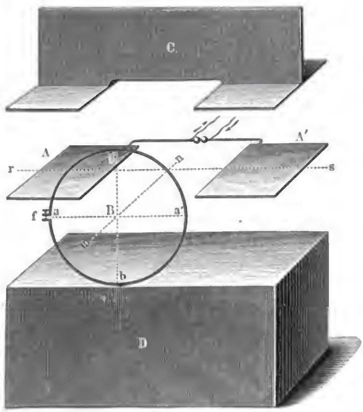


Fig. 316.

---

letzterwähntem Hauptmeridian liegen. Es . . . folgt also, dass in diesen vier Punkten das Entladungspotential ein Minimum ist. Sie sind am meisten zu einer Entladung befähigt. Ihnen entspringen die vier Seitenbüschel *I*, *II*, *IV* und *V*.

Ersetzt man die Platten durch einen Hohlcylinder, in dessen Achse die Kugel eingeführt wird, so ist die Vertheilung sowohl von S als auch von G in allen Kugelmeridianen die gleiche, ihr Produkt ist also ein Maximum, das Entladungspotential ein Minimum auf zwei Breitenkreisen von etwa 45° Poldistanz.

Die Seitenbüschel bilden von diesen Breitenkreisen ausgehende Kronen. Das Glimmlicht bezeichnet einen solchen Breitenkreis durch einen leuchtenden Ring.

Bei Fig. 315 auf S. 451 setzen sich die von beiden Zuleitungsdrähten bedingten elektrischen Schwingungen und die von beiden ausgehenden elektrostatischen Wirkungen (wenn sie grössere Dicke haben) in der Kugel zusammen.“

schiedene Orte des Kreises bringen zu können, ist letzterer auf der drehbaren Achse *mn* befestigt, welche in die Ebene der Platten *A* und *A'*, und zwar in die Mittellinie *mn* derselben, fällt. Der geringste Abstand zwischen *AA'* und *B* beträgt 12 cm.

Fällt die Funkenstrecke *f* in die horizontale Ebene von *AA'*, also in die Punkte *a* und *a'*, so ist sie völlig funkenfrei. Schon eine geringe Drehung aus dieser Lage lässt Funken erscheinen, welche an Länge und Intensität immer mehr zunehmen, je weiter sich die Funkenstrecke von der Gleichgewichtslage entfernt und eine maximale Länge von 3 mm erreichen, wenn sie in den höchsten Punkt *f* oder den tiefsten *f'* tritt. Bedingung, dass diese Erscheinung in voller Reinheit auftrete, ist, dass sich kein fremder Körper (also auch nicht der Beobachter) in der Nähe befinde.

Wie ein fremder leitender Körper die Erscheinung beeinflusst, wird gezeigt mit Hülfe der Vorrichtung *C*, welche, wie aus der Figur zu ersehen, aus drei Stücken Blech zusammengelöthet ist. Die Schwingungen in *AA'* erregen durch Influenz und Induktion auch Schwingungen in *C*, welche ihrerseits wieder solche in *B* erzeugen, die sich mit den dort direkt durch *AA'* hervorgebrachten zusammensetzen. Der Erfolg ist der, dass die Punkte, in welchen bei Drehung des Kreises *B* die Funken verschwinden, nicht mehr *a* und *a'* sind, sondern nach oben verschoben erscheinen, und dass im Punkte *b* die Funkenlänge *ab* in *b'* zugenommen hat. Durch Annäherung eines gleich gegeformten Leiters wie *C* von unten her könnte man diese Aenderung wieder kompensiren. Das Gleiche ist nun aber auch, wie der Versuch zeigt, möglich, wenn man von unten her einen Klotz *D* aus isolirendem Stoff (Zusammenstellung von Büchern, Asphaltblock, Paraffin, Schwefel, Holztrog mit Petroleum u. s. w.) nähert, in welchem elektrische Ströme unmöglich sind, sondern nur dielektrische Verschiebung (wie im Glase einer Leydener Flasche) stattfinden kann. Es folgt somit, dass oszillirende dielektrische Verschiebungen dieselbe Induktionswirkung ausüben, wie oszillirende Ströme in Leitern. Lässt man den isolirenden Block allein wirken, so wird der Funken im höchsten Punkte *b'* stärker, in *b* schwächer und die Nullpunkte erscheinen nach unten verschoben. Am besten geeignet erwies sich bei den Versuchen von Hertz ein Asphaltblock von 1,4 m Länge, 0,6 m Höhe und 0,4 m Breite (Gewicht 800 kg).[1])

D. Sehr kleine stehende Wellen.

Zur Erzeugung sehr kleiner stehender Wellen in Drähten eignet sich nach Drude[2]) das von Blondlot[3]) angegebene Verfahren besser als das Lecher'sche. Diesen Blondlot'schen Apparat zeigt Fig. 317.

1) Hertz, Ausbreitung der elektrischen Kraft, Leipzig, 1892, S. 102; Wied. Ann. **34**, 273, 1887.

2) Drude, Wied. Ann. **55**, 635, 1895.

3) Blondlot, C. R. **113**, 628, 1891.

Von dem Ruhmkorff'schen Funkeninduktor führen die Drähte AA zu dem aus zwei halbkreisförmigen an den Luftkondensator C angeschlossenen und durch die Funkenstrecke F getrennten Drähten bestehenden Oszillator, welcher von der zusammenhängenden Sekundärleitung S eng umschlossen wird. Letztere läuft wie bei der Lecher'schen Anordnung in zwei parallele Drähte DD aus, welche in der Figur bei B_1 und B_2 durch Drahtstücke und bei R durch eine Geissler'sche Röhre überbrückt sind.

Bei der Lecher'schen Anordnung ist die Kapazität gross im Verhältniss zur Selbstinduktion, bei der Blondlot'schen verhält es sich gerade umgekehrt. Letzteres ist vortheilhafter, „da hierdurch die Dämpfung der Schwingungen möglichst verringert wird, gerade wie bei zwei Federn gleicher Schwingungsdauer, von denen die eine grosse Masse und grosse Spannkraft, die andere dagegen geringe Masse und geringe Spannkraft besitzt, erstere ihre Schwingungen länger beibehält."

An Stelle der Geissler'schen Röhre muss eine empfindliche Vorrichtung gebraucht werden, entweder eine Zehnder'sche Röhre, deren Elektroden

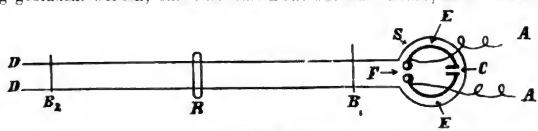


Fig. 317.

kurz geschlossen werden durch einen Draht, der als Resonator wirkt oder der von Righi[1]) angegebene Resonator aus versilbertem Glas, durch dessen Silberschicht mit dem Diamant ein feiner Riss gezogen ist. „Legt man diesen Streifen mit der Glasseite auf die Drähte DD, so stört er den Schwingungszustand in ihnen nicht merklich. Liegt der Streifen nicht auf einem Knoten der Potentialschwankungen, so tritt ein lebhaftes Funkenspiel im Riss der Metallbelegung ein. Dieser Riss braucht gar nicht so fein zu sein, er kann $^1/_{20}$ mm betragen." . . .

„Der kleinste Erreger ist in Fig. 317 in natürlicher Grösse abgebildet.[2])

Er besteht aus zwei kreisförmig gebogenen Drahtstückchen von 1,5 mm Dicke, die an ihrem einen Ende Messingkügelchen von 3 mm Durchmesser tragen. Der Erreger EE schliesst einen Kreis von 1 cm Radius ein. Die Drahtstücke EE sind an zwei dünnen Siegellackstängchen (in der Figur nicht gezeichnet) gekittet: an diesen werden sie durch zwei Stative gehalten und in das Petroleum[3]) eingesenkt. Die Zuleitung AA zum Ruhmkorff muss unmit-

1) Righi, Rend. Arc. Lincei **11**, 505, 1893.

2) „Man muss sich nur den in der Figur gezeichneten Plattenkondensator C fortdenken."

3) Zur Vermeidung der Entstehung von Büschel- oder Glimmentladungen zwischen Primär- und Sekundärleitung.

telbar an den Messingkügelchen geschehen, da sie sonst stören würde. An der Funkenstrecke liegt nämlich ein Knoten der Potentialschwankungen, dort kann man ohne Störung Drähte anlegen. Der Erreger ist von einer Sekundärleitung aus $^1/_3$ mm starkem Kupferdraht umgeben, die Leitung ist an eine Glasröhre gekittet und wird durch sie gehalten. Die Fig. 317 stellt auch die Sekundärleitung in natürlicher Grösse dar."

Senkt man die Sekundärleitung, wie Fig. 318 zeigt, in einen mit Wasser gefüllten Trog ein, so ergiebt sich dort eine andere Lage der Knotenpunkte, da die Elektrizitätskonstante des Wassers eine andere ist. Indem man diese Knotenabstände und diejenigen in Luft bestimmt, kann man die Dielektrizitätskonstante des Wassers (oder einer andern Flüssigkeit) bestimmen.

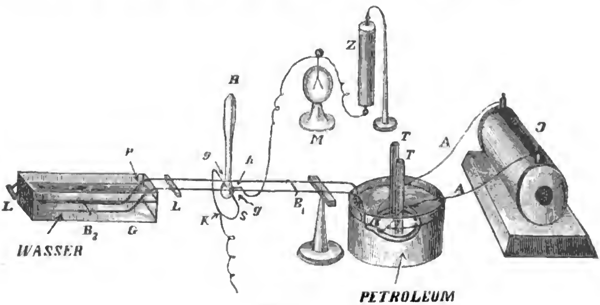


Fig. 318.

Die dazu erforderlichen Manipulationen beschreibt Drude l. c. 648 in folgender Weise: „Es wird ein Bügel B_2 (ein 2 cm langes, mit Häkchen versehenes Drahtstück von 1 mm Dicke) über die Drähte *DD* an ihrer Eintrittsstelle *P* ins Wasser übergelegt. Das Induktorium wird in Gang gesetzt und die Entladungskugeln des Erregers werden möglichst weit (etwa $^1/_2$ mm) auseinander gezogen, indem man den einen Träger *T* eines Erregerdrahtes etwas verschiebt; sofort fallen die Goldblätter zusammen.

Sodann wird eine zweite Brücke B_1 zwischen Erreger und Zehnderscher Röhre über die Drähte *DD* gelegt. Dann spreizen die Goldblätter im Allgemeinen wieder. Nur bei einer bestimmten Lage von B_1 fallen die Goldblätter wieder zusammen. Diese Lage wird aufgesucht durch Verschieben von B_1, und es wird dann B_1 dort belassen. Bei der getroffenen Anordnung liegt B_1 etwa 36 cm von B_2 entfernt.

Schliesslich wird die Brücke B_2 mit Hilfe einer Pinzette allmählich ins Wasser geschoben. Bei Verschiebung um 2 cm gehen plötzlich die Goldblätter auseinander und stehen ruhig. Diese Distanz entspricht $^1/_4$ Wellenlänge der Schwingung im Wasser. Bei weiterem Verschieben von B_2 fallen die Gold-

blätter wieder zusammen, um, falls B_2 auf 6 cm verschoben ist, wieder ruhig zu spreizen. Man erhält so in dem kleinen Troge vier Stellen des B_2, für welche die Goldblätter spreizen (Bäuche der elektrischen Kraft) und vier dazwischen liegende Stellen kräftigsten Zusammenfallens (Knoten der elektrischen Kraft). Je nach der Intensität der Schwingungen, d. h. der Distanz, welche man den Entladungskugeln des Erregers giebt, sind entweder die Knotenstellungen oder die Bäuche schärfer zu ermitteln. — Die Distanz aufeinander folgender Knoten oder Bäuche beträgt beim Wasser für 17° C. nahezu 4 cm, die halbe Welle in Luft (Entfernung des B_1 vom Wasser) beträgt 36 cm, daher ist der „elektrische Brechungsexponent" des Wassers (nach dem Huygens'schen Prinzip aus den Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Wellen in Luft und Wasser berechnet [vgl. Fig. 324 auf S. 463])

$$n = 36 : 4 = 9$$

und die Dielektrizitätskonstante

$$\varepsilon = n^2 = 81.$$[1])

Blondlot[2]) bestimmte die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Störungen längs Drähten mittelst zweier gleicher Kondensatoren, welche mit der einen Belegung an die Pole der Elektrizitätsquellen angeschlossen waren, während die andern Belegungen, welche je aus zwei ungleich grossen Theilen bestanden, mit zwei Funkenmikrometern in Verbindung waren und zwar so dass die beiden kleineren Theile direkt an das betreffende Funkenmikrometer angelegt waren, die grösseren dagegen durch 1 bis 2 km lange Drahtschleifen, so dass in diesem 2. Funkenmikrometer die Funken gegen diejenigen des ersten verspätet erscheinen mussten. Die Verspätung wurde durch Beobachtung der Funken im Drehspiegel gemessen.

Um Störungen durch langsame Potentialschwankungen auszuschliessen, waren Nebenschlüsse aus feuchter Schnur an die Funkenstrecken angelegt, durch welche sich solche Schwankungen ausgleichen konnten.

---

1) Das Induktorium hatte 2,5 cm Funkenlänge und war durch 3 Akkumulatoren in Reihe gespeist. Der Erreger bestand aus zwei halbkreisförmig gebogenen 3 mm starken Kupferdrähten von 7,5 cm Länge mit 6 mm dicken Messingkugeln an den Enden. Die von ihnen umgrenzte Kreisfläche hatte 5 cm Durchmesser. Die Funkenstrecke war 4 mm lang. Vor dem Eintauchen wurden die Entladungskugeln mit feinstem Schmirgelpapier Nr. 0000 abgerieben. Die Sekundärleitung aus 1 mm starkem Kupferdraht war zu einem Kreis von 5,5 cm Durchmesser (mit einer Oeffnung von 2 cm) gebogen. Die Länge der 2 cm von einander abstehenden Paralleldrähte betrug 64 cm. In 23 cm vom Ende tauchten sie in einen Glastrog von 18 cm Länge, 5 cm Breite und 4 cm Tiefe. Etwa 18 cm vor diesem Glastrog ist eine Zehnder'sche Röhre R zwischen die Drähte geschoben. s ist ein 13,5 cm langer, 1 mm dicker Kupferdraht. Die ganze Länge der Resonatorleitung s incl. Glimmelektroden g, g beträgt 23 cm. Der Punkt k von s ist zur Erde abgeleitet. Als Stützen für Erreger, Sekundärleitung u. s. w. dienen Siegellackstangen.

2) Blondlot, Ann. chim. phys. (7) 7, 442, 1896.

62. Elektrische Strahlung.

A. Elektrischer Oszillator.

Bei derartig raschen Schwingungen findet ein beträchtlicher Verlust an Energie durch elektrische Strahlung statt. Das magnetische Feld, welches den Stromleiter umgiebt, tritt, wie die Untersuchungen von Hertz gelehrt haben, nicht wie die alte Fernwirkungstheorie annahm, gleichzeitig an allen Stellen des Raumes auf, sondern entwickelt sich, ebenso wie die Maxwell'sche Wirbelbewegung, zunächst an der Oberfläche des Leiters und schreitet von hier aus mit der (allerdings sehr grossen) Geschwindigkeit von 300 000 Kilometer in den Raum hinaus fort.

Würde man also etwa zwei kugelförmige Konduktoren, welche durch einen Draht verbunden sind, (etwa durch Influenz) entgegengesetzt elektrisch machen und plötzlich die Ursache, welche die Elektrizitäten geschieden hält, (die Elektrisirung des influenzirenden Körpers) beseitigen, so dass Ausgleich der Ladungen, sog. „Rückschlag“ [1]) eintritt, so wird das um den Stromleiter sich bildende magnetische Kraftliniensystem, welches man sich, wie Fig. 319 andeutet, durch Aufstreuen von Feilspänen auf eine senkrecht zum Leiter angebrachte Holztafel sichtbar gemacht denken könnte, erst nur aus wenig Linien dicht an der Oberfläche des Leiters bestehen, welche sich aber sofort erweitern und in der Richtung der radialen Pfeile mit der genannten sehr grossen Geschwindigkeit in den Raum hinauseilen.[2])

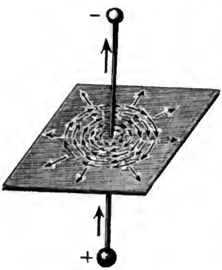


Fig. 319.

Verschwindet der Strom wieder, so kehrt nicht, wie oben angenommen, die gesammte Kraftlinienzahl d. h. die gesammte magnetische Energie (sich in

1) Die Bezeichnung „Rückschlag“ rührt von Lord Mahon (Grundsätze der Elektrizität) her. Derselbe kann nach Weber (Vollständige Lehre von den Gesetzen der Elektrizität, München, 181, 1791) am einfachsten mit einer der Influenz ausgesetzten Kette gezeigt werden. Bei der Entladung des elektrischen Körpers sieht man an losen Kontaktstellen der Kettenglieder Funken überspringen.

2) Nach Poynting (Phil. Trans. 343, 1884, 277, 1885 und Phys. Rev. I, 48, II, 107) strömt die Energie längs den Schnittkurven der magnetischen und elektrischen Niveauflächen (bei stationärem Strom). Würde in dem Leiter Fig. 319 ein stationärer Strom fliessen, so wären die magnetischen Niveauflächen die durch denselben hindurchgehenden Ebenen (vgl. O. L., Elektrizität u. Licht, S. 33 u. Müller-Lehmann, Grundriss d. Physik, S. 451). Die elektrischen Niveauflächen wären (wenigstens in der Mitte) Ebenen senkrecht zum Stromleiter. Der Durchschnitt beider Flächenschaaren ergiebt radiale Linien ähnlich den radialen Pfeilen in Fig. 319. Letztere stellen also auch im Falle des stationären Stroms Strömungslinien der Energie dar.

elektrische umsetzend) in den Stromleiter zurück, sondern ein Theil der Kraftlinien schreitet mit unveränderter Geschwindigkeit in den Raum hinaus fort und nur der Rest bleibt verfügbar zur Erzeugung des Extrastromes, so dass die nun durch Selbstinduktion bewirkte entgegengesetzte Ladung der Konduktoren weder bezüglich der Quantität der angehäuften Elektrizität noch bezüglich der der Spannung (denn der Quotient der Quantität und Spannung giebt die konstant bleibende Kapazität der Konduktoren) der ursprünglichen Ladung gleichkommt. Bei dem folgenden abermaligen Ausgleich der Ladungen wird abermals ein System von Kraftlinienringen, aber von entgegengesetzter Richtung, in den Raum hinausgesandt und die durch den Extrastrom bedingte neue Ladung der Konduktoren im ursprünglichen Sinne ist noch weit schwächer als die vorige, so dass nach wenigen Schwingungen der ganze elektrische Energievorrath der Konduktoren erschöpft sein, d. h. in Energie der elektrischen Strahlung sich umgewandelt haben wird.[1])

B. Schallwellen.

Der Vorgang gleicht einigermaassen dem Vorgang der Bildung von elastischen Wellen oder von Schallwellen. Wird beispielsweise das Ende einer

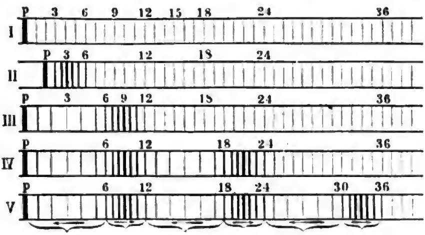


Fig. 320.

langen Spiralfeder oder Luftsäule Fig. 320 durch Verschiebung eines Kolbens p zusammengedrückt, so geht bei Rückwärtsbewegung des Kolbens die aufge-

1) Denkt man sich die magnetischen Kraftlinien als Wirbelfäden, so ist scheinbar diese Ausbreitung der Wirbel unverständlich, da ein Wirbelring in einem homogenen Medium, z. B. Luft, sich nicht ausbreitet, sondern seinen Durchmesser behält. Die Wirkung wird indess verständlich, wenn man die in Fig. 110 dargestellte Struktur des Aethers berücksichtigt. Würde beim Beginn des Stromes zunächst die dem Leiter unmittelbar anliegende Schicht von Ringen in Umlauf gesetzt, so überträgt sich die rotirende Bewegung vermittelst der Zwischenkörperchen auf die nächste Schicht von Ringen, alsdann von dieser auf die folgende u. s. w. und dabei kommt, weil diese Ringe als vollkommen elastisch zu denken sind, immer diejenige Gruppe, welche die Bewegung abgegeben hat, zur Ruhe, während die in Umlauf gesetzte die ganze Energie aufnimmt, ebenso wie beim Zusammenstoss zweier gleicher elastischer Kugeln die stossende zur Ruhe kommt, die gestossene aber die volle Geschwindigkeit der ersteren annimmt.

speicherte potentielle Energie bezw. Wärme nicht wieder vollständig in kinetische Energie über, sondern nur ein Theil, während der andere Theil als Energie der Verdichtungswelle in den Raum hinaus fortschreitet. (Fig. 320 I u. II.) Der Kolben braucht deshalb nicht bis in die Anfangslage zurückzukehren, wenn der auf ihn wirkende Druck verschwinden, d. h. die angrenzende Partie des Feldes ihre Verdichtung verlieren soll. Wird der Kolben über diese neue Gleichgewichtslage hinaus in die anfängliche Ruhelage bewegt, so entsteht, wie Fig. 320 III zeigt, in gleicher Weise eine in den Raum hinauseilende Verdünnungswelle und von der Energie derselben geht bei Rückbewegung des Kolbens in die neue Ruhelage wieder nur ein Theil an den Kolben als Bewegungsenergie zurück, der Rest stellt die Energie der Strahlung dar.

Wiederholt sich die Bewegung des Kolbens rhythmisch, so entstehen Wellenzüge, wie sie die Figg. 320 IV und V andeuten, doch werden die Amplituden der Wellen, eben weil immer nur ein Theil der Energie dem schwingenden Kolben zurückerstattet wird (nicht wie bei einem im Vakuum schwingenden Körper der gesammte Betrag), immer geringer, bis schliesslich die Schwingungen ganz erlöschen. Man sagt, die Schwingungen werden durch die Strahlung „gedämpft“.

Die Energie des schwingenden Kolbens (die Summe der kinetischen und potentiellen Energie) ist in jedem Moment, wenn $\frac{1}{s \cdot g}$ die Dichte des Kolbens und v das Volumen desselben, a die Amplitude in Metern und T die Dauer einer ganzen Schwingung in Sekunden bedeuten:

$$A = \frac{1}{2g} \cdot \frac{v}{s} \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot a}{T}\right)^2 \text{ Kilogrammmeter.}^{1)}$$

Die Energie der ausgesandten Wellenbewegung pro Kubikmeter beträgt, falls es sich um eine Wellenbewegung in einem homogenen elastischen Medium oder in Luft handelt,

$$J = \frac{1}{2} \cdot \varrho \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot a}{T}\right)^2 \text{ Kilogrammmeter,}$$

wobei ϱ die Dichte des Gases und a wieder die Amplitude in Metern bezeichnet.

Wäre beispielsweise das Gewicht des Kolbens = 1 Kilogramm, somit die Masse $= \frac{v}{s \cdot g} = \frac{1}{9,81}$, die Amplitude desselben = 0,046 Millimeter und die Schwingungszahl pro Sekunde 435, somit $T = \frac{1}{435}$, so wäre die Energie

$$A = \frac{2 \cdot 3{,}14^2 \cdot 0{,}046^2 \cdot 10^{-6} \cdot 435^2}{9{,}81} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ Kilogrammmeter.}$$

---

1) Die Grösse $\frac{2\pi \cdot a}{T}$ ist die Geschwindigkeit eines gleichförmig im Kreise umlaufenden Körpers, als dessen Projektion der schwingende Körper erscheint. Vgl. Müller-Lehmann, Grundr. d. Physik S. 256 Fig. 245.

Dicht an der Fläche des Kolbens ist die Energie der Luftbewegung pro Kubikmeter, wenn das Gewicht dieses Luftquantums = 1,29 Kilogramm gesetzt werden kann, also die Masse $\frac{v}{s \cdot g} = \frac{1,29}{9,81}$.

$$J = \frac{1,29 \cdot 2 \cdot 9,046^2 \cdot 10^{-6} \cdot 3,14^2 \cdot 435^2}{9,81} = 10,3 \cdot 10^{-4} \text{ Kilogrammmeter.}$$

Wird als Schallgeschwindigkeit 340 Meter angenommen, so wäre die von dem schwingenden Kolben in einer Sekunde ausgesandte Energie, falls keine Dämpfung der Schwingungen stattfände und der Kolbenquerschnitt = 0,04 Quadratmeter wäre:

$$J = 0.04 \cdot 340 \cdot 10,3 \cdot 10^{-4} = 0,014 \text{ Kilogrammmeter.}$$

Da nun aber der Kolben überhaupt nur $8 \cdot 10^{-4}$ Kilogrammmeter Energie enthält, könnte er, wenn die Schwingungen stets in gleicher Stärke andauern und nicht allmählich abklingen würden, nur $\frac{8 \cdot 10^{-4}}{0,014} = 0,057$ Sekunden lang fortschwingen, falls ihm nicht die in Form von Luftwellen ausgestrahlte Energie beständig wieder ersetzt würde.

C. Magnetische Wellen.

Im Falle der elektrischen Schwingungen beträgt die pro Sekunde in Form von Strahlung in einem Medium von der magnetischen Permeabiliät 1 (Luft) ausgesandte Energiemenge nach Hertz:

$$\frac{16 \cdot \pi^4 \cdot Q^2 \cdot l^2}{9 \cdot 10^{15} \cdot g \cdot T^4} \text{ Kilogrammmeter,}^{1)}$$

falls Q die maximale Ladung eines der Konduktoren des elektrischen Oszillators in Coulomb, l dessen Länge in Metern und T die Schwingungsdauer in Sekunden bedeutet.

Bei einem Versuche von Hertz war beispielsweise die Potentialdifferenz der beiden kugelförmigen Konduktoren von 0,15 m Radius = 36000 Volt, somit die Ladung eines jeden = 0,3 Mikro-Coulomb, die Länge des Oszillators = 1 m und die Schwingungsdauer = $3,2 \cdot 10^{-8}$ Sekunden. Hiernach betrug die pro Sekunde ausgestrahlte Energie 1512 Kilogrammmeter, was einem Effekt von 20 Pferdekräften gleich kommt.

Auch in diesem Falle ist somit die Dämpfung ausserordentlich gross und die Schwingungen werden sehr rasch ein Ende nehmen; bereits nach $5^1/_2$ Schwingungen ist, wie Hertz berechnet hat, die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Energie in Form von Strahlung verausgabt.

Sollten die Schwingungen immerfort in gleicher Stärke andauern, so wäre es nothwendig den Konduktoren kontinuirlich ebensoviel Energie zuzuführen als durch Strahlung verloren geht. In diesem Falle wäre dann der Oszillator von

1) Vgl. H. Hertz, Ausbreitung d. elektr. Kraft, S. 160 u. O. Lehmann, Elektrizität und Licht, S. 244, § 135.

einem System fortschreitender magnetischer Wellen umgeben, welches, durch gleichmässig vertheilte, winzig kleine Magnetnadeln für einen Moment sichtbar gemacht, sich etwa so darstellen würde, wie die Fig. 321 zeigt, wobei die Richtung der Magnetnadeln durch die Richtung der Pfeile und die Grösse der ablenkenden Kraft durch deren Stärke dargestellt ist.

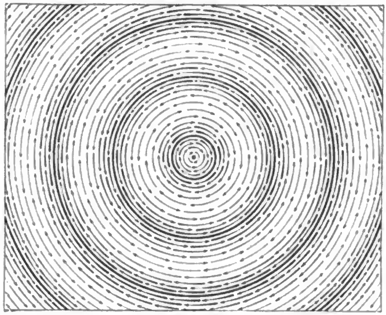


Fig. 321.

Das Wellensystem ist ein fortschreitendes, ebenso wie das von einem tönenden Körper ausgehende System von Schallwellen. Trifft es auf einen metallischen Leiter, welcher ebenso geformt und gestellt sein möge wie der Oszillator, Fig. 322, so rufen die Schwankungen der magnetischen Feldintensität in diesem Leiter induzirte elektromotorische Kräfte hervor, deren Grösse sich bestimmt durch die Zahl der jeweils pro Sekunde den Körper schneidenden Kraftlinien. Diese elektrischen Kräfte bedingen abwechselnde Ladung der Enden des Körpers mit positiver und negativer Elektrizität, d. h. elektrische Schwingungen von gleicher Periodenzahl wie die des Oszillators. Dieselben werden in voller Stärke auftreten, wenn die Eigenschwingungen des Körpers, welchen wir in diesem Falle entsprechend dem akustischen Analogon als Resonator bezeichnen, mit denen des Oszillators übereinstimmen, d. h. wenn die von ihm hervorgebrachten Schwingungen, wenn er selbst als Oszillator gebraucht würde, die gleiche Schwingungsdauer hätten, wie die des gegebenen Oszillators.

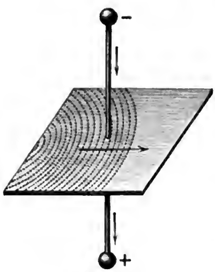


Fig. 322.

Besitzt der Resonator Widerstand, so wird die elektrische Energie in Wärme übergehen, die elektrische Strahlung wird absorbirt; andernfalls sendet

er selbst Wellen gleicher Art aus, die Strahlung wird reflektirt. Stimmt die Eigenschwingung des Resonators nicht überein mit der des Oszillators, so wird die Energie nicht aufgenommen, die Wellen gehen ungestört an dem Körper vorbei. Natürlich finden zwischen diesen extremen Fällen alle möglichen Ueber-

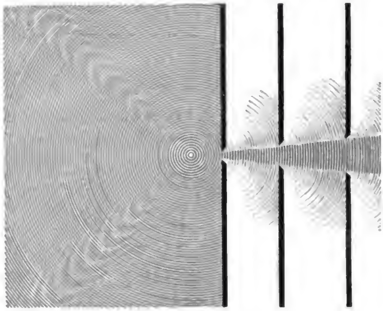


Fig. 323.

gänge statt, die Strahlung wird stets etwas absorbirt, etwas reflektirt und zum Theil durchgelassen.

Gleiches gilt, wenn die Strahlung auf ein System von Resonatoren auffällt, welche einen zusammenhängenden Körper bilden.

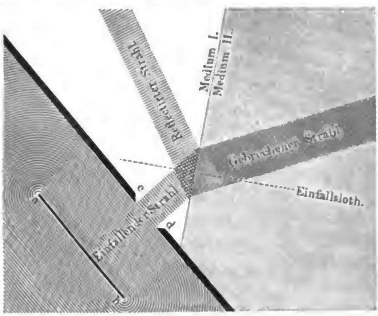


Fig. 324.

Besitzt ein solches System in Form einer Wand, welches die Strahlung vollkommen absorbirt, an einer Stelle eine Oeffnung, so tritt durch diese ein Strahlenbündel hindurch, welches in gerader Richtung fortschreitet, wie Fig. 323 zeigt. Durch eine Reihe solcher Oeffnungen kann der Strahl nur hindurch

dringen, wenn diese in derselben Linie hinter einander liegen. Beim Auftreffen auf die Grenze zweier Medien von verschiedener magnetischer Permeabilität, wird, wie Fig. 324 andeutet, ein Theil des Strahls reflektirt, ein anderer gebrochen, und zwar, wenn seine Fortpflanzungsgeschwindigkeit (somit auch seine Wellenlänge) im zweiten Medium geringer ist wie im ersten, gegen das Einfallsloth hin, ebenso wie ein Lichtstrahl, welcher aus einem optisch dünneren in ein optisch dichteres Medium eintritt.

D. Elektrische Wellen.

Ebenso nun wie die Aenderung der magnetischen Feldintensität in einem Leiter (Fig. 321) Schwankungen der elektromotorischen Kraft bedingt, welche

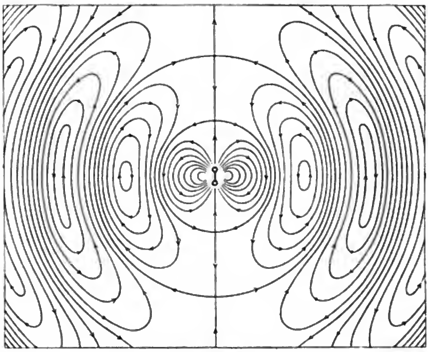


Fig. 325.

elektrische Schwingungen erzeugen, bedingt sie an einer beliebigen Stelle des Dielektrikums, durch welches die Wellen fortschreiten, das Auftreten dielektrischer Verschiebung in einer Richtung senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien und zur Richtung ihres Fortschreitens.

Diese dielektrischen Verschiebungen bilden ein System elektrischer Wellen, welches unzertrennlich mit dem System der magnetischen Wellen verbunden ist und zwar sind die beiden Wellensysteme dieselben, da im gleichen Momente, in welchem der Oszillator elektrische Kraftlinien aussendet, auch magnetische Kraftlinien gebildet werden. Auch die Energie beider Wellensysteme ist an jeder Stelle die gleiche (vgl. Maxwell, Lehrb. der Elektr. und des Magn., Berlin 1883, S. 547), die Richtungen der elektrischen und magnetischen Kraft dagegen stehen auf einander senkrecht. Zeichnen wir also in einer zur Ebene der Fig. 321 durch deren Mittelpunkt senkrecht hindurch gelegten Ebene die im gleichen Momente auftretenden elektrischen Kraftlinien, so erhalten wir das

von Hertz berechnete System Fig. 325. Die Richtung der Kraftlinien ist ebenso wie bei Fig. 325 durch Pfeile dargestellt, wobei indess die Phase derart verändert zu denken ist, dass an allen Stellen, wo die magnetische Kraft ein Maximum oder Null ist, dies auch bezüglich der elektrischen gilt.[1])

Ist das Medium, in welchem die Schwingungen fortschreiten, nicht Luft, deren magnetische Permeabilität und Dielektrizitätskonstante = 1 gesetzt werden können, sondern ein Medium von der Permeabilität μ und der Dielektrizitätskonstante η, so ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen nicht 300 000 km pro Sekunde, sondern $\frac{300000}{\sqrt{\mu \cdot \eta}}$ Kilometer.

Werden die Wellen an einer metallischen Wand reflektirt, so tritt ebenso wie bei Schallwellen durch Interferenz der ankommenden und reflektirten Wellen stehende Wellenbewegung ein, bei welcher der Knotenabstand $^1/_2$ Wellenlänge beträgt. Mittelst eines Resonators, in welchem die auftretenden induzirten Ströme z. B. durch eine eingeschaltete kleine Funkenstrecke sichtbar gemacht werden können, lässt sich das Vorhandensein und die Lage dieser Knotenpunkte bestimmen.

Befindet sich der Oszillator im Brennpunkt eines Hohlspiegels, so entsteht ein Bündel paralleler elektrischer Strahlen, ähnlich wie bei dem analogen optischen Versuch und ebenso wie bei diesem kann dasselbe durch einen zweiten Hohlspiegel in dessen Brennpunkt wieder konzentrirt werden.

Die Figg. 326 und 327 zeigen solche zur Reflexion Hertz'scher Wellen bestimmte Hohlspiegel in der Form, wie sie von Leybolds Nachf. in Köln geliefert werden.[2])

Der Oszillator im Spiegel Fig. 327 ist nach den Angaben von Hertz[3]) ausgeführt und wird mit einem Induktor von 6 cm Funkenlänge verbunden. Im sekundären Spiegel (Fig. 327) ist eine mit Kupferfeilspänen gefüllte Branly'sche Röhre (Lodges Cohärer) als Resonator befestigt, welche unter Zwischenschaltung eines Vertikalgalvanometers oder einer elektrischen Klingel mit drei Akkumulatoren verbunden wird.

Man kann mittelst dieser Spiegel leicht die Durchlässigkeit einer Holztafel und die Undurchlässigkeit eines Zinkschirms, ferner die

1) Anders verhält sich dies bei den oben S. 445 besprochenen stehenden elektrischen Wellen an Drahtleitungen. Die Energie ist dort an einer bestimmten Stelle einmal vollständig als magnetische Energie vorhanden, nach einem Viertel der Schwingungsdauer als elektrische, nach der Hälfte der Schwingungsdauer wieder als magnetische u. s. w. und in den Zwischenzeiten theilweise als elektrische, theilweise als magnetische, aber so, dass die Gesammtsumme (die sog. elektromagnetische Energie) stets dieselbe bleibt, ebenso wie die Summe von kinetischer und potentieller Energie bei elastischen Schwingungen oder Pendelschwingungen. — Vgl. auch Volkmann, Vorlesungen über die Theorie des Lichtes. Leipzig 1891, S. 38.

2) Nach Angaben von V. Biernacki, Wied. Ann. **55**, 599, 1895. Aehnliche Apparate liefert auch F. Ernecke, Berlin SW., Königgrätzerstr. 112.

3) Hertz, Ausbreitung d. elektr. Kraft, S. 196; Wied. Ann. **36**, 769, 1888.

Durchlässigkeit eines Drahtschirms Fig. 328 je nach der Stellung der Drähte zur Stellung des Oszillators zeigen, ferner die Versuche über geradlinige Fortpflanzung und Reflexion der Strahlen, die Brechung durch ein Pechprisma Fig. 329 und die Nachahmung der Verwendung von Polarisator und Analysator durch Kreuzung der beiden Spiegel demonstriren.

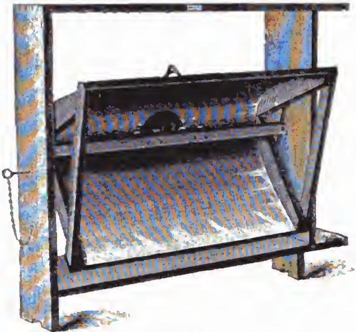


Fig. 326.

In einfacher Weise kann man nach Spielmann[1]) die Ausbreitung der Wellen (nach dem Vorgange von Lodge) mittelst eines gewöhnlichen elektrischen Gasanzünders zeigen, in dessen Ebonitgriff bekanntlich ein Thomson'scher Replenisher angebracht ist, dessen Fünkchen elektrische Wellen erzeugen, welche die Ebonithülse durchdringen und für die anzustellenden Versuche ausreichen.

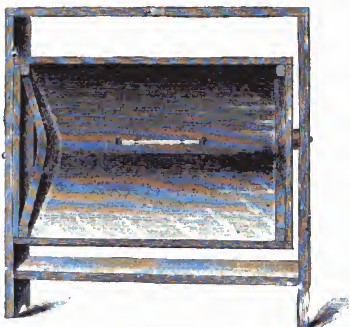


Fig. 327.

Als Cohärer wird eine Glasröhre von 20 cm Länge und 1,3 cm Durchmesser gewählt, welche mit kleinen eisernen Schrauben gefüllt ist. Dieselbe hat anfänglich einen Widerstand von 2500 Ohm und nach Einwirkung der elektrischen Strahlen nur noch 400 Ohm. Zum Schutz gegen Wellen müssen die Zuleitungsdrähte mit einer metallischen Hülle umgeben sein. Es genügt, den Cohärer sammt dem Trockenelement, welches zur Erzeugung des Stromes dient, in einem Kupferkasten unterzubringen und als Leitungen zu dem, bei zu geringer Entfernung ebenfalls durch ein Metallgehäuse zu schützenden Galvanometer,

1) Spielmann, Zeitschr. zur Förd. d. phys. u. chem. Unterr. IX, 131, 1896. Vgl. auch V. v. Lang, Ueber elektrische Wellen, Vortrag gehalten den 30. Dez. 1896 im Verein zur Verbr. naturw. Kenntnisse in Wien.

dünne Bleikabel zu verwenden, deren Bleihülle mit dem Kupferkasten metallisch verbunden ist. Da, wo die Schwingungen eintreten sollen, besitzt der Kupferkasten eine verschliessbare Oeffnung.[1])

Leicht anzustellende Versuche sind:

1. Das Eindringen elektrischer Wellen in Drähte. An die eine Klemme des Cohärers wird ein langer Draht befestigt und das andere Ende desselben der Einwirkung der Wellen ausgesetzt.

2. Reflexion. Man stellt vor die Oeffnung des Kupfergefässes zu diesem Zweck eine Metallplatte als Spiegel. Falls nach dem Gesetz der Gleichheit von Einfalls- und Reflexionswinkel die Strahlen eindringen können, erfolgt Ablenkung des Galvanometers.



Fig. 328.

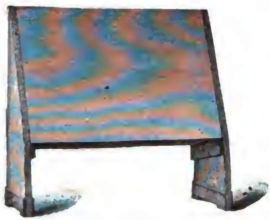


Fig. 329.

3. Refraktion. Hierzu wird vor die Oeffnung ein Paraffinprisma (Gewicht ca. 2 kg) gestellt.

4. Polarisation. Vor die Oeffnung kommen zwei Metallgitter, von denen das eine als Polarisator, das andere als Analysator dient. „Der Griff des Gasanzünders wird unter einem gewissen Winkel gegen die Drähte des Polarisators gehalten. Die Drähte desselben lassen nur jene Komponente der Schwingungen durch, die senkrecht auf ihrer Richtung sind. Sind die Drähte beider Gitter parallel, so erfolgt ein starker Ausschlag des Galvanometers, sind sie gekreuzt, so bleibt es in Ruhe.“

5. Doppelbrechung. Die beiden Gitter werden gekreuzt und ein Holzklotz dazwischen gestellt. Laufen die Fasern den Drähten des einen oder

1) Nach Righi, Rend. Acc. Lincei (5), **6**, (2), 59, 1897 muss der Kasten durchaus frei von Spalten sein. Es genügt, wie auch schon Lodge beobachtete, ein sehr enger Spalt, um die Wellen in das Innere eindringen zu lassen, während selbst ziemlich grosse kreisförmige Oeffnungen (bis 6 cm) die Strahlen weit weniger gut durchlassen.

andern Gitters parallel, so erfolgt kein Ausschlag, dagegen ein sehr starker, wenn sie um 45° gedreht sind.[1])

Eine grosse Reihe von Untersuchungen über elektrische Wellen von grosser Schwingungszahl und deren Anwendung zur Hervorbringung der den Lichterscheinungen analogen Phänome (Fresnels Spiegel, Boltzmanns Spiegel[2]), Interferenz mit einem Spiegel, Biprisma aus Schwefel, dünne Blättchen, Beugung, Reflexion an Isolatoren, Metallreflexion, Brechung und Totalreflexion, Doppelbrechung und Resonatoren als Wellenzentren) hat Righi[3]) ausgeführt.

Einen in handlicher Form und geringen Dimensionen ausgeführten Demonstrations-Apparat zu Versuchen mit solchen kleinen elektromagnetischen Wellen beschreibt Jagadis Chunder Bose.[4])

Der Erreger besteht aus zwei kleinen Platinkugeln von 2 mm Durchmesser und einer Zwischenkugel von 8 mm. Der Doppelfunke hat eine Länge von $^1/_2$ bis $^1/_3$ mm.

Als Empfänger dient eine mit kleinen Spiralen (von 2 mm Länge) aus Draht von 0,2 mm Durchmesser gefüllte Furche in einer Ebonitplatte.

Die erzeugten Wellen haben eine Länge von etwa 1 cm.

Mittelst einer Cylinderlinse aus Ebonit (Brechungsexponent 1,73) lässt sich ein paralleles Strahlenbündel herstellen.

Sehr gut lässt sich z. B. die Doppelbrechung in einer Krystallplatte erkennen, deren Hauptschwingungsrichtungen unter 45° gegen die Drähte eines als Polarisator und Analysator dienenden Drahtgitters stehen. Dichroismus zeigt sich deutlich bei Epidot, in geringerem Grade bei Turmalin.

Ein Buch kann als Polarisator oder Analysator dienen, denn die den Seiten parallelen Schwingungen werden vollständig absorbirt, während die dazu senkrechten durchgehen. Aehnlich verhalten sich andere Körper von fasriger Beschaffenheit. Die Richtung stärkster Absorption stimmt dabei stets, wie es die Theorie verlangt, überein mit der Richtung der grössten Leitungsfähigkeit.

Lebedew gelang es, Wellen von nur 6 mm Länge (entsprechend einer Schwingungszahl von ca. 50 Milliarden pro Sekunde) herzustellen.[5]) Für dieselben konnten Hohlspiegel und Prismen so klein gewählt werden (Prismen von nur etwas über 1 cm), dass sogar der Nachweis der Doppelbrechung in Krystallen möglich wurde.

---

1) Ueber Ausführung der Versuche in grösserem Maassstabe siehe H. Hertz, Ausbreitung der elektrischen Kraft, Leipzig 1892, ferner Winkelmann, Handbuch der Physik III (2), S. 415 u. ff.; Zehnder, Wied. Ann. **52**, 34 u. **53**, 162, 1894; Drude, Wied. Ann. **52**, 499, 1894; Biernacki, Wied. Ann. **55**, 599, 1895.

2) Siehe O. L., Elektrizität und Licht, S. 249 Fig. 158.

3) Righi, Beibl. **19**, 357. 1895; **20**, 393, 1896 u. **21**, 769, 1897; ferner Righis Buch: L'Ottica delle Oscillazioni elettriche, Bologna, Nicola Zanichelli, 1897. (Deutsche Ausgabe in Vorbereitung.)

4) Jagadis Chunder Bose, C. R. **124**, 676, 1897.

5) Lebedew, Wied. Ann. **56**, 1, 1895.

Den Lebedew'schen Oszillator zeigt Fig. 330 in natürlicher Grösse. Bezüglich der Konstruktion desselben sagt Lebedew:

„Der Primärleiter (Fig. 330) bestand aus zwei Platincylindern P_1 und P_2 (je 1,3 mm lang und 0,5 mm dick), welche in Glasröhren G_1 und G_2 eingeschmolzen waren; die Stromzuführung geschah durch Funken, welche von den Drähten D_1 und D_2 auf die Platincylinder übersprangen. Dieser Primärleiter befand sich in der Brennlinie eines kreiscylindrischen Spiegels (Höhe 20 mm), Oeffnung 12 mm, Brennweite 6 mm).[1] Um den Funken des Primärleiters in einem flüssigen Isolator überspringen zu lassen, wurde der ganze Spiegel in ein Petroleumbad gesteckt. Die erzeugten Strahlen konnten durch ein dünnes Glimmerfenster ungestört in den Luftraum austreten; eine passend angebrachte Schraube gestattete die Länge des Primärfunkens ($l = 0{,}02$ mm) zu reguliren. Als Stromquelle diente ein mittelgrosses Induktorium (30 Unterbrechungen pro Sekunde), dessen Sekundärkreis durch einen Kondensator C (und einen Wasserwiderstand W) unterbrochen war, um die dem Primärfunken schädlichen Nachentladungen des Induktoriums zu vermeiden.

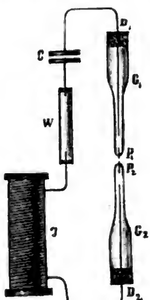


Fig. 330.

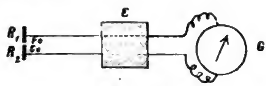


Fig. 331.

Durch einen zweiten parabolischen Cylinderspiegel, welcher dem Hertz'schen genau nachgebildet war (Brennweite 1,4 mm, Höhe 20 mm, Oeffnung 12 mm), wurden die Strahlen auf zwei geradlinige (je 3 mm lange) Resonatoren konzentrirt. An den einander zugekehrten Enden der Resonatoren R_1 und R_2 (Fig. 331) waren sehr dünne ($d =$ ca. 0,01 mm) Drähte aus Eisen resp. Konstantan angelöthet, welche zwei in einander geschlungene (je 0,3 mm grosse) Oesen bildeten; an jedem Resonator war in der Mitte (d. h. im Knotenpunkt seiner elektrischen Eigenschwingung) ein federnder, in der Ebonitplatte E befestigter Zuleitungsdraht angelöthet.

Werden die Resonatoren erregt, so entladen sie sich bei jeder Schwingung theilweise durch die Drähte des Thermoelementes, deren Erwärmung sofort durch ein empfindliches Galvanometer (1 Scth. $= 6 \cdot 10^{-9}$ Amp. bei $r = 0{,}62$ Ohm) angezeigt und durch seinen ersten Ausschlag gemessen wurde. Um das empfindliche Thermoelement vor Luftströmungen zu schützen, wurde

1) Die Form eines Kreiscylinders wurde der von Hertz angewandten parabolischen Form wegen der leichteren Herstellung vorgezogen.

der Sekundärspiegel in einer, mit einem Glimmerfenster versehenen Schutzhülle angebracht.

Beide Spiegel standen auf einem Spektrometer; die Brennlinie des Primärspiegels war unveränderlich vertikal aufgestellt, während der Sekundärspiegel, der am beweglichen Arme des Spektrometers angebracht war, um den Strahl als Achse gedreht werden konnte. Die gegenseitige Entfernung beider Spiegel betrug bei den meisten Versuchen 10 cm (was der Entfernung von 10 m bei den Hertz'schen Versuchen entspricht); unter diesen Umständen erreichen die Galvanometerausschläge 20—30 Skalentheile."

Zu den Versuchen, welche sich leicht mit diesem Apparate ausführen liessen, gehören

1. Geradlinige Ausbreitung.

2. Abnahme der Intensität mit der Entfernung.

3. Durchlässigkeit der Isolatoren.

4. Schirmwirkung der Leiter.

5. Reflexion. Es genügte ein Metallspiegel von 2 × 2 cm.

6. Brechung. Das angewandte Ebonitprisma von 45° Brechungswinkel war 1,8 cm hoch, 1,2 cm breit und wog kaum 2 g; der Ablenkungswinkel betrug 30° entsprechend einem Brechungsexponenten $n = 1,6$.

7. Interferenz nach Boltzmann (Wied. Ann. **40**, 399, 1870). Auf das Maximum bei dem Gangunterschied 0 folgte beim Gangunterschied 0,2 bis 0,3 cm ein gut ausgeprägtes Maximum, entsprechend der Wellenlänge 0,6 cm.

8. Doppelbrechung. Dazu dienten Prismen aus rhombischem Schwefel 1,8 cm hoch, 1,3 cm breit mit 25° brechendem Winkel. Die Brechungsexponenten ergaben sich = 2,2 und 2,0.

9. Nicol'sches Prisma.

10. $\frac{\lambda}{4}$ Undulationsplättchen.

Diese beiden Vorrichtungen konnten auf Grund der gefundenen Werthe des Brechungsexponenten aus Schwefelkrystallen hergestellt werden. Als trennendes Medium diente im ersten Fall eine 1,8 m dicke Ebonitplatte.

11. Reflexion durch Polarisationsgitter. Dasselbe war aus 20 dünnen Drähten gebildet, 2 × 2 cm gross.

12. Durchlässigkeit von Polarisationsgittern.[1])

Noch kleinere Wellen bis zu 4 mm Länge erzielte Anton Lampa.[2]) Der Cohärer reagirte auch auf solche noch mit ausreichender Empfindlichkeit. Als Brechungsexponenten wurden gefunden:

---

1) Bezüglich weiterer Einzelheiten, insbesondere wegen Befestigung des Primärleiters, Regulirung der Funkenstrecke, Aufsuchen des Brennpunkts der Hohlspiegel, Herstellung der Resonatoren, Galvanometer u. s. w. sei auf die Originalarbeit verwiesen.

2) Anton Lampa, Wied. Ann. **61**, 79, 1897.

Substanz	$\lambda = 8$ mm	$\lambda = 6$ mm	$\lambda = 4$ mm
Paraffin	1,524	1,410	1,394
Ebonit	1,739	1,724	1,560
Schwefel . . .	1,802	2,008	2,000
Benzol	1,767	1,760	1,742
Glycerin . . .	1,843	1,760	1,620
Terpentinöl . .	1,782	1,720	1,629
Alkohol	2,568	2,292	2,240
Wasser	8,972	9,405	9,499

Hieraus ist zu schliessen, dass die meisten der untersuchten Substanzen in der Oktave $n = 37500 \cdot 10^6$ bis $75000 \cdot 16^6$ anormale Dispersion zeigen. Ausgenommen sind Schwefel und Wasser.

Durch Zusammenstellung der gefundenen Werthe des Brechungsexponenten (n) oder des Quadrates desselben, der Dielektrizitätskonstante (η) zeigt sich (wenigstens bei Alkohol) eine successive Annäherung an die für Licht gültigen Werthe, nämlich:

$n =$	25	150	400	6000	37500	50000	75000 Millionen.
$\eta =$	24,8	24,4	23	10,2	6,8	5,3	5

Bei Wasser dagegen konnte eine Abnahme der Dielektrizitätskonstanten mit abnehmender Wellenlänge bei den bisherigen Versuchen noch nicht konstatirt werden.[1])

Die Werthe für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen in Luft, welche durch Beobachtung der Interferenzen gefunden werden können, stimmen überein mit denjenigen, welche durch Beobachtung stehender Drahtwellen gefunden werden, gleichgültig, welches der Widerstand des Drahtes ist. Dieses Ergebniss lässt sich voraussehen, da sehr rasche Schwingungen nicht in das Metall einzudringen vermögen.

Bei den in oben S. 456 beschriebener Weise von Drude ausgeführten Versuchen[2]) ergab sich, dass gewisse Flüssigkeiten für sehr schnelle Schwingungen weit grösseres Absorptionsvermögen zeigen, als ihrem Leitungsvermögen entspricht. Diese Anomalie ist verbunden mit einer Anomalie des Brechungsexponenten und entspricht ganz der in der Optik als anomale Dispersion bezeichneten Erscheinung.

1) Nach den Untersuchungen von J. A. Fleming und J. Dewar (Proc. Roy. Soc. **61**, 299, 316, 1897) ist die Dielektrizitätskonstante von sehr reinem Eis bei —206° bis —175° 2,43. Sie steigt mit zunehmender Temperatur derart, dass sie bei 0° etwa den Werth 80 erreicht. Bei etwa —65° besitzt die Dielektrizitätskonstante ein Maximum. Ein Maximum der Leitungsfähigkeit wurde bei —90° gefunden. Vielleicht handelt es sich hier um einen Uebergang in eine andere Modifikation. (Vgl. auch S. 457.)

Dibromäthylen zeigte bei 15° eine Dielektrizitätskonstante = 5. Beim Frieren nahm dieselbe auf 3 ab und dieser Werth blieb bis zu den niedrigsten Temperaturen.

2) Drude, Wied. Ann. **58**, 1, 1896 und **60**, 500, 1897.

E. Telegraphie ohne Drähte.

Eine interessante praktische Verwerthung der Hertz'schen Wellen ist Marconis Telegraphie ohne Drähte.[1]) Fig. 332 zeigt einen Marconi'schen Oszillator in der Form, wie er von Leybolds Nachf. in Köln geliefert wird, Fig. 333 die zugehörige Branly'sche Röhre (Cohärer) mit elektromagnetischem Klopfer.

Der Oszillator besteht aus zwei massiven Metallkugeln, welche so in eine Hülse von Ebonit eingelassen sind, dass die Hälfte hervorragt. Das Innere der Hülse ist mit Vaselinöl gefüllt. Man bringt die Vorrichtung zwischen die Entladerkugeln eines Ruhmkorff von 15—20 cm Funkenlänge.

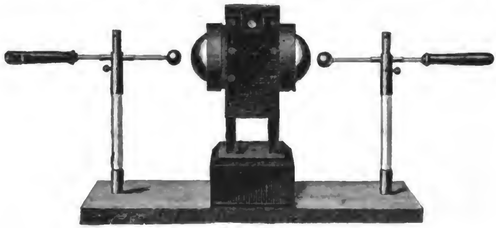


Fig. 332.

Die Branly'sche Röhre ist mit einem Gemisch von Silber- und Nickelfeilspänen mit etwas Quecksilber gefüllt. In diesem Metallpulver stehen sich zwei Silberelektroden auf $^1/_2$ mm Abstand gegenüber, welche mit einem empfindlichen Telegraphenrelais in den Stromkreis einer Batterie eingeschaltet sind.

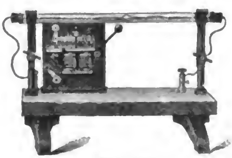


Fig. 333.

Treffen von dem Oszillator ausgehende elektrische Wellen auf die Branlysche Röhre, so verschweissen die Metallpartikelchen durch unsichtbare zwischen ihnen übergehende Fünkchen, der Strom geht hindurch und setzt das Relais und damit den Hauptstrom in Thätigkeit, welcher durch einen Morseapparat und zugleich durch den unter der Röhre angebrachten, ähnlich wie eine elektrische Klingel eingerichteten elektromagnetischen Klopfer geht, so dass in Folge der Erschütterung der Röhre die Verbindung zwischen den Metalltheilchen aufgehoben und damit der durch das Relais gehende Strom wieder unterbrochen wird.[2])

1) Siehe elektrotechn. Zeitschr. **18**, 430, 1897, Zeitschrift f. d. phys. und chem. Unterricht **10**, 314, 1897.

2) Max Kohl in Chemnitz liefert noch vollkommener konstruirte Marconi'sche Apparate, welche in der elektrot. Zeitschr. 18, 668, 1897 beschrieben sind und gelegentlich der Naturforscherversammlung in Braunschweig demonstrirt wurden. Auch F. Ernecke in Berlin SW., Königgrätzerstr. 112 liefert ähnliche Apparate.

63. Die Lichtstrahlen.

A. Entstehung von Lichtwellen.

Die Länge elektrischer Wellen lässt sich nach dem Vorigen bis auf etwa 4 mm herunterbringen. Solche sehr kurzwelligen elektrischen Strahlen nähern sich in ihrem Verhalten bereits einigermaassen den langwelligen Wärmestrahlen, deren Länge etwa 0,01 mm beträgt[1]) und man kann wohl als sicher annehmen, dass, wenn es gelingen würde die Wellenlänge elektrischer Strahlen wirklich auf diesen Betrag herunterzubringen, völlige Uebereinstimmung der Eigenschaften beider Strahlenarten sich zeigen würde. Die Wärmestrahlen andererseits sind bekanntlich ebenfalls nur durch die Grösse ihrer Wellen von den Lichtstrahlen unterschieden, so dass als sicher gelten kann, dass auch die Lichtstrahlen nur elektrische Strahlen sehr kleiner Wellenlänge sind, zumal da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes mit derjenigen elektrischer Wellen vollkommen übereinstimmt.

Dieser Gedanke, das Licht sei eine elektrische Wellenbewegung, ist zuerst von Faraday[2]) ausgesprochen worden in dem Aufsatz: „Gedanken über Schwingungsstrahlen." Nachdem er sich dahin geäussert, dass seiner Ansicht nach die Atome nur Kraftzentra seien und die Kraftlinien sich gegenseitig durchdringen könnten, fährt er fort: „Die Auffassung der Materie unter diesem Gesichtspunkte führte mich allmählich zu der Erwägung, ob nicht am Ende die Kraftlinien der Sitz der Schwingungen der Strahlungserscheinungen seien. Eine andere Betrachtung, welche zu der Hypothese über den Zusammenhang der Materie und der Strahlung führt, ergiebt sich aus einer Vergleichung der Geschwindigkeiten, mit denen die Strahlungsvorgänge und gewisse Kräfte der Materie sich fortpflanzen. Die Geschwindigkeit, mit welcher das Licht den Raum durcheilt, beträgt 190 000 Meilen in der Sekunde; die Geschwindigkeit der Elektrizitätsbewegung ist nach den Versuchen von Wheatstone ebenso gross, wenn nicht grösser.

Die Ansicht, welche ich aufzustellen so kühn bin, betrachtet also die Strahlung als eine mächtige Art von Schwingung in den Kraftlinien, die, wie wir wissen, materielle Theilchen und Massen mit einander verknüpfen. Sie lässt den Aether entbehrlich erscheinen, aber nicht die Schwingungen."

Die Idee wurde von Maxwell[3]) weitergeführt in dem Aufsatz „Elektromagnetische Theorie des Lichtes", indess in einer von der ursprünglichen Faraday'schen Form verschiedenen Weise, indem er den Aether als den Träger

---

1) Ueber Versuche mit Wärmestrahlen grosser Wellenlänge siehe Rubens und Nichols, Wied. Ann. **60**. 418, 1897.

2) Faraday, Phil. Mag. (3) **28**, Nr. 188, 1846.

3) Maxwell, Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus, deutsche Ausgabe, Berlin 1883, II, 537.

der elektrischen und magnetischen Kräfte, sowie auch als das (nicht mechanisch, sondern elektrisch) schwingende Medium der Lichtwellen betrachtet.

Die weitere Ausbildung und experimentelle Begründung der Theorie verdankt man insbesondere H. Hertz, dessen Arbeiten in dem Buche „Untersuchungen über die Ausbreitung elektrischer Kraft“ zusammengestellt sind.[1])

Legt man sich nun die Frage vor, wie gross müssten die Kugeln eines Oszillators sein, welcher Schwingungen von gleicher Frequenz wie die Lichtschwingungen erzeugt, so kommt man zu molekularen Dimensionen.[2])

Hätten wir z. B. zwei Kugeln von $5{,}5 \cdot 10^{-11}$ Meter Radius, was etwa der Grösse der Wasserstoffatome entspricht, wie sie sich nach den Hypothesen der kinetischen Gastheorie ergiebt, und dächten wir uns diese Kugeln verbunden durch einen Draht von $5{,}86 \cdot 10^{-7}$ m Länge und $5{,}5 \cdot 10^{-14}$ m Querschnittradius, so wird die Schwingungsdauer dieses Systems, berechnet nach der Formel

$$T = \pi \sqrt{2 L C},$$

da $$C = 0{,}613 \cdot 10^{-20} \text{ Farad und}$$

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 58{,}6 \cdot 10^{-7} \cdot \log\text{nat}\, 58{,}6 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{1}{5{,}5 \cdot 10^{-14}} = 2{,}16 \cdot 10^{-11}$$

Henry ist, sein:

$$T = \pi \sqrt{2 \cdot 2{,}16 \cdot 10^{-11} \cdot 0{,}613 \cdot 10^{-20}}$$

und die Wellenlänge der erzeugten Strahlung

$$\lambda = 3 \cdot 11^{-11} \cdot T = 640 \cdot 10^{-6} \text{ mm.}$$

Nun beträgt beispielsweise die Wellenlänge der Wasserstofflinie C oder H_α $656{,}3 \cdot 10^{-6}$ mm, die der Linie F oder H_β $486{,}1 \cdot 10^{-6}$ mm, man sieht also, die Strahlung, welche der aus Kugeln von der Grösse der Wasserstoffatome gebildete Oszillator aussenden würde, ist nahezu identisch mit der wirklich beobachteten Strahlung.

Dass in Wirklichkeit nicht nur eine einzige Art von Schwingungen entsteht, sondern zwei oder mehrere auftreten, könnte man sich recht wohl durch die Abweichungen der Form der Atome von der Kugelgestalt u. dergl. Komplikationen bedingt denken.

Aber wie soll Entladung zwischen zwei entgegengesetzt elektrischen Wasserstoffatomen stattfinden können?

Nach dem auf S. 27 und S. 114 Gesagten muss die dielektrische Festigkeit des Aethers unendlich gross angenommen werden oder richtiger, für den Aether hat dieser Begriff überhaupt keine Bedeutung, Entladung ist ein Vorgang, welcher an das Vorhandensein materieller Theilchen gebunden ist und unmöglich ist, wo solche fehlen. Man kann also nicht etwa annehmen, dass, wenn die entgegengesetzten Atome sich auf $5{,}86 \cdot 10^{-7}$ m Abstand genähert haben, ein Funke zwischen ihnen überspringt, dem die Rolle des oben ange-

1) Vgl. auch O. Tumlirz, Die elektromagnetische Theorie des Lichtes, Leipzig 1883, und H. v. Helmholtz, Vorlesungen über die elektromagnetische Lichttheorie.

2) O. L., Elektrizität und Licht, S. 332, 1895.

nommenen drahtförmigen Leiters bezüglich der Entstehung von Oszillationen zugeschrieben werden könnte. Immerhin ist man aber berechtigt anzunehmen, dass entgegengesetzt geladene Atome gleicher Art existiren können (es geht dies schon aus elektrolytischen Untersuchungen hervor[1]) und auch, dass sie ihre Ladungen austauschen können, denn nur hierdurch wird der Elektrizitätsübergang von den Ionen an die Elektroden verständlich. Und dass eine Zerspaltung der Moleküle in Atome erfolgt, wenn Lichtemission auftritt, entspricht vollkommen den Vorstellungen, zu welchen wir durch die Entladungserscheinungen geführt worden sind, insbesondere wenn wir berücksichtigen, dass ein Theilchen strömenden Gases, wie auf S. 287 gezeigt, gerade in dem Momente aufleuchtet, wo es in das Entladungsgebiet eintritt. Ebenso wird die Lichtemission bei Verbrennungsprozessen vollkommen verständlich, wenn wir die chemischen Kräfte, welche die Verbrennung bewirken, als elektrische auffassen und berücksichtigen, dass dabei eine Spaltung und Neubildung von Molekülen stattfindet.

Wie nun aber in allen diesen Fällen der Austausch elektrischer Ladungen vor sich geht, wenn wir annehmen, dass derselbe durch den Aether hindurch nicht erfolgen kann und dass immer nur ein Austausch von Ladungen zwischen Atomen stattfinden kann, dass niemals ein Atom unelektrisch werden kann, das ist eine Frage, die sich zur Zeit nicht beantworten lässt. Es würde die Lösung weitere Hypothesen über die Beschaffenheit der Atome und die Natur der elektrischen Ladungen nothwendig machen, die wir anderweitig nicht stützen könnten und deshalb ausser Betracht lassen müssen.[2])

Richarz[3]) deutet die Erscheinungen in anderer Weise. Er nimmt an, dass, wenn zwei entgegengesetzt elektrische Atome auf ihrer Bahn nahe zusammenkommen, dieselben sich gegenseitig beeinflussen wie sog. Doppelsterne und nun um ihren gemeinsamen Schwerpunkt umlaufen.

„Wenn nun eine positive und eine negative Ladung mit den beiden Atomen eines Moleküls verbunden, sich um einander drehen, so ist ein solches System offenbar äquivalent einer elektrischen Schwingung. Von dem rotirenden Atompaar werden daher auch, wie von einer Hertz'schen Schwingung, elektrodynamische Wellen ausgestrahlt und bei hinreichender Schnelligkeit müssten dieselben vom Auge als Licht wahrgenommen werden."

---

1) So ist der Schwefel in den Schwefelmetallen Anion, also negativ geladen; in Schwefelsäure muss er aber positiv geladen sein, da er bei der Elektrolyse konzentrirter Schwefelsäure nach der Kathode wandert und dort abgeschieden wird. Siehe Richarz, Wied. Ann. **52**, 389, 1894.

2) Vgl. auch die in O. L., Molekularphysik II, S. 375, 1889 dargestellte Hypothese knotenförmiger Atome, welche als Aetherströme oder Wirbel gedeutet werden können und zwar sowohl als stetige wie auch oszillirende Ströme, wobei entsprechende Magnetfelder hinzutreten, welche bei Vereinigung zweier Atome zur Entstehung von Schwingungen Anlass geben können.

3) Richarz, Wied. Ann. **52**, 409, 1894.

In der That erscheint unter Annahme der molekularen Geschwindigkeiten, wie sie die kinetische Gastheorie ergiebt, und der Atomladungen, wie sie aus den elektrolytischen Erscheinungen berechnet werden, das Auftreten derart schneller Umdrehungen wohl möglich.

Nennt man c die Geschwindigkeit eines Wasserstoffatoms in Metern pro Sekunde und nimmt man an, dasselbe streife an einem entgegengesetzt elektrischen vorbei, werde von diesem festgehalten und rotire mit demselben um den Berührungspunkt, welcher zugleich gemeinsamer Schwerpunkt ist, derart, dass pro Sekunde n Umläufe erfolgen, so ist die erforderliche Anziehungskraft p zwischen den beiden Atomen (Centripetalkraft[1]): $p = m \cdot c \cdot 2\pi \cdot n$.

Nun ist die Masse m eines Wasserstoffatoms nach den Ergebnissen der kinetischen Gastheorie[2]):

$$m = \frac{1}{280 \cdot 9{,}81 \cdot 10^{24}},$$

die molekulare Geschwindigkeit etwa 1000 m pro Sekunde und die Schwingungszahl des Lichtes rund 10^{15}, somit

$$p = \frac{1000 \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{15}}{280 \cdot 9{,}81 \cdot 10^{24}} = 2{,}3 \cdot 10^{-9} \text{ kg}.$$

Dies stimmt sehr gut mit dem Werth $p = 2{,}43 \cdot 10^{-9}$ kg, welcher sich aus der elektrischen Ladung der Atome ergiebt.[3])

Trotzdem erscheint mir die Theorie zweifelhaft. Hertz[4]) bemerkt nämlich bezüglich der Entstehung der elektrischen Wellen: „Das wirkliche Eintreten derselben in unseren Versuchen hängt ausser von ihrer theoretischen Möglichkeit noch ab von einer besonderen und überraschenden Eigenschaft des elektrischen Funkens, welche durch keine Theorie vorherzusehen war.“

Umlaufende elektrische Atome nach Richarz würden zwei sich deckende gleich starke aber entgegengesetzte Kreisströme darstellen. Nach Drude[5]) kann aber eine elektrische Welle nur auftreten, wenn ins Unendliche verlaufende Stromlinien dielektrischer Verschiebung vorhanden sind, was für Kreisströme nicht zutrifft. Allerdings geht ein Theil der Kraftlinien von den entgegengesetzt elektrischen Atomen, auch wenn sie einander sehr nahe sind, ins Unendliche, derselbe ist indess im Verhältniss zur Gesammtzahl so gering, dass kaum möglich erscheint, hierin die Ursache der mächtigen Energieausstrahlung zu erblicken, welche das Licht darstellt.

E. Wiedemann[6]) und Ebert[7]) entwickelten ebenfalls eine andere Theorie. „Nehmen wir an, dass den elektrischen Ladungen in Bezug auf das materielle

1) Müller-Lehmann, Grundriss der Physik, S. 239, § 221.

2) Vgl. O. L., Elektrizität und Licht, S. 291 und oben S. 115.

3) Ebenda.

4) Hertz, Untersuchungen über die Ausbreitung elektr. Kraft, S. 3.

5) Drude, Physik des Aethers, S. 427.

6) E. Wiedemann, Zur Mechanik des Leuchtens, Wied. Ann. **37**, 177, 1889.

7) Ebert, Arch. d. Genève **25**, 489, 1891, und Ebert und Wiedemann, Wied. Ann. **49**, 27, 1893.

Molekül eine gewisse Bewegungsfreiheit (im Sinne der gewöhnlichen Mechanik) zukommt, so können wir die Wärme und Lichtstrahlung auf Oszillationen der elektrischen Valenzladungen zurückführen, wie sie unter gewöhnlichen Bedingungen schon bei den Zusammenstössen zweier Moleküle erregt werden, und deren Ausbreitung für den Fall einer geradlinigen Bahn von Hertz experimentell und theoretisch studirt worden ist.

Halten wir an dem landläufigen Bilde, welches man sich von der Erscheinung der elektrischen Ladung gemacht hat, fest, wonach diese darin besteht, dass auf der Oberfläche der Moleküle sich eine Schicht „Elektrizität" befindet, so ist es am einfachsten, sich die Oszillationen, welche sich dem umgebenden Felde mittheilen, durch „Verschiebungen" der elektrischen Molekülladungen hervorgebracht zu denken. In diesem Sinne können wir, wenn wir uns auf den alten Standpunkt stellen, was im vorliegenden Falle den Vortheil grösserer Anschaulichkeit bietet, von „verschobenen Valenzladungen" reden. In der „Grösse der Verschiebung" haben wir ein Maass für den Grad, um welchen der augenblickliche elektrische Zustand des Moleküls von dem Gleichgewichtszustande entfernt ist.

Jedem Molekül kommt je nach seinem Baue und den durch diesen bedingten in ihm wirksamen Kräften ein bestimmtes System von elektrischen Eigenschwingungen seiner Valenzladungen zu, welche das Spektrum bestimmen. Die Schwingungszahlen der Grundschwingungen hängen von den Dimensionen des Moleküls ab, wie bei einem durch eine Bahn von geringem Widerstande sich entladenden Kondensator."

Koláček[1]) fand in der That für die elektromagnetischen Schwingungen einer leitenden polarisationsfähigen Kugel, die in einem gleichfalls dielektrisch polarisirbaren Aether enthalten ist, gewisse Regelmässigkeiten bezüglich der möglichen Schwingungszahlen, welche sich in den Spektren der Elemente wiederfinden.

Bei den elektrischen Entladungen soll das Leuchten nach E. Wiedemann und Ebert dadurch bedingt sein, dass durch den Strom gewissermaassen wie durch einen Violinbogen die Valenzladungen der Moleküle in Vibration versetzt werden. Diese Anschauung beruht auf einer von der hier zu Grunde gelegten wesentlich verschiedenen Vorstellung über das Wesen der elektrischen Entladung, auf welche wir erst weiter unten eingehen können.

B. Verbrennungswärme.

Wir wollen nun noch untersuchen, in wie weit vom energetischen Standpunkte unsere Auffassung mit der Wärmeentwicklung beim Verbrennungsprozess verträglich ist.

Sei das Elementarquantum $= 0{,}179 \cdot 10^{-18}$ Coulomb, also die Spannungsdifferenz der entgegengesetzten Atome, deren Kapazität sich aus dem Durch-

1) Koláček, Wied. Ann. **58**, 310, 1896.

messer zu $0{,}613 \cdot 10^{-20}$ Farad ergiebt $= 29{,}3$ Volt, so berechnet sich die Wärmemenge, welche durch Vereinigung getrennter Sauerstoff- und Wasserstoffatome entstehen muss (einschliesslich der Energie der Strahlung), vorausgesetzt, dass 2 H-Atome sich mit 1 O-Atom verbinden, zu

$$\frac{2}{2g} \cdot \frac{1}{430} \cdot 0{,}179 \cdot 10^{-18} \cdot 29{,}3 + \frac{1}{2g} \cdot \frac{1}{430} \cdot 0{,}179 \cdot 10^{-18} \cdot 20{,}1$$
$$= \frac{0{,}179 \cdot 78{,}7}{2 \cdot 9{,}81 \cdot 430} \cdot 10^{-18} = 1{,}67 \cdot 10^{-21} \text{ Kalorien.}$$

Somit ist die Verbrennungswärme von 1 g Wasserstoff ($= 140 \cdot 10^{21}$ Moleküle) $= 1{,}67 \cdot 140 = 234$ Kalorien.

Thatsächlich ist die Verbrennungswärme von nicht aus getrennten Atomen bestehendem Wasserstoff mit Sauerstoff $= 34{,}8$ Kalorien. Nach E. Wiedemann[1]) müssen 1 g Wasserstoff zur Zerlegung in seine Atome etwa 126 Kalorien zugeführt werden. Die Verbindungswärme von 1 g getrennter Wasserstoffatome mit der entsprechenden Menge zu Molekülen verbundener Sauerstoffatome würde also 160,8 Kalorien betragen.

Bei Verbrennung im freien Raume ist die Verbrennungswärme um den Betrag der als Strahlung ausgesandten Energie geringer. Wir wollen deshalb diesen gleichfalls berechnen und in Abzug bringen.

Die von einem Oszillator von l m Länge bei Q Coulomb maximaler Ladung während einer Sekunde ausgestrahlte Energiemenge ist

$$= \frac{16 \cdot \pi^4 \cdot Q^2 \cdot l^2}{9 \cdot 10^{15} \cdot g \cdot T^4} \text{ Kilogrammmeter.}$$

Da nun $Q = 1{,}79 \cdot 10^{-19}$ Coulomb, $l = 58{,}6 \cdot 10^{-7}$ m und $T = \frac{640 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{11}}$ $= 2{,}13 \cdot 10^{-15}$ Sekunden, ist der Energieverlust pro Sekunde

$$\frac{16 \cdot 3{,}14^4 \cdot 1{,}79^2 \cdot 10^{-38} \cdot 58{,}6^2 \cdot 10^{-14}}{9 \cdot 10^{15} \cdot 9{,}81 \cdot 2{,}13^4 \cdot 10^{-60}} = \frac{16 \cdot 3{,}14^4 \cdot 1{,}79^2 \cdot 58{,}6^2}{9 \cdot 9{,}81 \cdot 2{,}13} \cdot 10^{-7}$$
$$= \frac{16 \cdot 97 \cdot 3{,}2 \cdot 3440}{9 \cdot 9{,}81 \cdot 20{,}5 \cdot 10^7} = 9{,}43 \cdot 10^{-4} \text{ Kilogrammmeter.}$$

Bei Verbrennung von 1 g Wasserstoff $= 140 \cdot 10^{21}$ Molekülen würden also $9{,}43 \cdot 10^{-4} \cdot 140 \cdot 10^{21} = 1{,}26 \cdot 10^{20}$ Kilogrammmeter Energie pro Sekunde ausstrahlen, unter der Voraussetzung, dass keine Dämpfung der Schwingungen stattfindet.

Die Zahl ist mehrere Billionen mal grösser als der Betrag der Strahlung bei dem weit heller leuchtenden Natrium, welches 1380 Kilogrammmeter pro Sekunde ausstrahlt.[2]) In der That muss durch die Funkenbildung zwischen den Atomen, welche ihre Ladungen ausgleichen, die Energie, ganz abgesehen von der Strahlung, sehr rasch unter Wärmebildung verbraucht werden. Wie stark diese Dämpfung ist, lässt sich nicht ohne Weiteres berechnen.[3]) Man

---

1) E. Wiedemann, Wied. Ann. **18**, 509, 1883.

2) Nach E. Wiedemann, siehe O. L., Elektrizität und Licht, S. 209.

3) Ueber eine derartige Berechnung auf anderer Grundlage siehe H. Ebert, Wied. Ann. **49**, 659, 1893 und E. Wiedemann, Wied. Ann. **37**, 176, 1889.

ersieht aber, dass der Verlust durch Strahlung unerheblich ist im Vergleich zur gesammten frei werdenden Wärmemenge.

Sind die Sauerstoffatome nicht zu Molekülen verbunden, so wäre die Arbeit zur Trennung derselben unnöthig, die Verbindungswärme wird also grösser ausfallen müssen.

Die gefundene Verbindungswärme stimmt, wie man sieht, der Grössenordnung nach. Könnte man sie als wirklich zutreffend betrachten, so wäre die Differenz

$$234 - 160{,}8 = 73{,}2 \text{ Kalorien}$$

die Wärmemenge, welche 8 g Sauerstoff zugeführt werden muss, um die Moleküle in Atome zu zerspalten.

Früher suchte man das Auftreten von Wärme bei der chemischen Verbindung zweier Körper durch Massenanziehung (Gravitation) zu erklären. Berechnet man aber auf Grund dieser Hypothese die Verbrennungswärme von 1 g Wasserstoff, so erhält man nach F. Exner[1]) nur $5 \cdot 10^{-24}$ Kalorien, eine Zahl, die auch nicht einmal der Grössenordnung nach stimmt.

C. Wirkungsgrad von Lampen.

Man könnte noch die vom praktischen Standpunkt wichtige Frage aufwerfen: Der wievielte Theil der gesammten chemischen Verbindungswärme oder elektrischen Energie kann überhaupt in Form von Strahlung erhalten werden, wie gross ist der Wirkungsgrad einer gegebenen Lichtquelle?

Eine Oellampe von 9,4 Kerzen Leuchtkraft beispielsweise verbraucht per Sekunde 42 g Oel, dessen Verbrennungswärme 9500 Kal. pro Kilogramm beträgt. Die chemischen Prozesse würden also eine Menge chemischer Energie im Betrage von

$$\frac{9{,}500 \cdot 42}{3600} = 0{,}111 \text{ Kalorien}$$

per Sekunde verbrauchen.

Die dafür in Form von Strahlung ausgegebene Energie beträgt, wenn man die von einer Kerze per Sekunde ausgestrahlte Energiemenge $= 2{,}5 \cdot 10^{-5}$ Kalorien setzt,

$$2{,}5 \cdot 9{,}4 \cdot 10^{-5} = 23{,}4 \cdot 10^{-5} \text{ Kalorien.}$$

Der theoretische Wirkungsgrad der Oellampe, d. h. das Verhältniss der in Strahlung umgesetzten zur gesammten verbrauchten Energie beträgt also

$$\frac{23{,}4 \cdot 10^{-5}}{0{,}111} = 2{,}11 \cdot 10^{-3},$$

d. h. nur etwa 2 Prozent.

1) Sitzungsber. d. Wien. Akad. **103**, IIa, 869, 1894. Bereits H. v. Helmholtz, Vorträge und Reden **2**, 317, 1884, hat nachgewiesen, dass die Gravitationsarbeit neben der elektrischen verschwindet, da die elektrischen Kräfte der Ladungen viele Billionen mal grösser sind als die in Betracht kommenden Gravitationskräfte. Vgl. auch W. Thomson, Populäre Vorträge und Reden, deutsche Ausgabe, Berlin, Mayer und Müller 1891, S. 3.

Der Wirkungsgrad einer gewöhnlichen Lampe ist also anscheinend ein äusserst geringer und Aehnliches gilt von gewöhnlichen elektrischen Lampen. Man könnte kaum mehr Licht erhalten, wenn man die zur Speisung der Lampe nöthige Oelmenge in Form von Oelgas zur Speisung eines Gasmotors und diesen zum Betrieb elektrischer Maschinen verwenden würde, welche die elektrischen Lampen speisen.[1])

Indess würde der wie oben berechnete Wirkungsgrad ebensowenig der wahre Wirkungsgrad sein, wie der Wirkungsgrad einer Dampfmaschine, der berechnet wäre auf Grund der Voraussetzung, dass die gesammte Verbrennungswärme der zur Speisung des Kessels benutzten Kohle zur Erzeugung von mechanischer Arbeit verwerthbar wäre. Dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik zufolge ist dies bekanntlich nicht der Fall, es kann nur ein Bruchtheil dieser Wärmemenge ausgenutzt werden, der sich darstellt als Quotient des zur Verfügung stehenden Temperaturgefälles (Differenz von Kessel- und Kondensatortemperatur) dividirt durch die absolute höchste (Kessel-) Temperatur. Auf die Strahlung angewendet, hätten wir also nur denjenigen Bruchtheil der gesammten Verbrennungswärme bei Berechnung des Wirkungsgrades in Betracht zu ziehen, der bestimmt wird durch einen Bruch, dessen Zähler die Differenz von Dissoziations- und Zimmertemperatur (ca. 1210°) und dessen Nenner die absolute Dissoziationstemperatur (ca. 1500°) ist. Dieser verwandelbare Theil der Verbrennungswärme wäre also $0{,}111 \cdot \frac{1210}{1500} = 0{,}09$ Kalorien, mithin der wahre Wirkungsgrad $= 2{,}6 \cdot 10^{-3} = 0{,}26$ Prozent.[2])

Zu dieser Berechnung muss noch bemerkt werden, dass, wenn nicht der Strahlungswirkungsgrad im Allgemeinen, sondern speziell der Lichtwirkungsgrad gewünscht wird, natürlich nur die Energie der wirklichen Lichtstrahlung in Anrechnung gebracht werden darf.[3])

Wesentlich günstiger als gewöhnliche Lampen sollen nach Ebert[4]) elektrodenlose Vakuumröhren funktioniren, welche fast nur leuchtende Strahlung aussenden, während für gewöhnliche Lampen der leuchtende Theil der Strahlung nur ein kleiner Bruchtheil (0,0245 nach Tumlirz) der Gesammtstrahlung ist.

Auf diesen günstigen Wirkungsgrad weisen schon theoretische Betrachtungen von E. Wiedemann über das Leuchten eines mit verdünntem Wasser-

---

1) Vgl. O. L., Elektrizität und Licht S. 344, 1895.

2) Vgl. auch Müller-Lehmann, Grundriss d. Physik, S. 612, 1896.

3) Nach O. Tumlirz, Wied. Ann. **38**, 659, 1889 beträgt die Wärmemenge, welche eine Fläche von 1 qcm in 1 m Entfernung in günstigster Stellung von der Flamme einer Amylacetatlampe empfängt, $361 \cdot 10^{-9}$ Grammkalorien pro Sekunde. Ueber die physikalische Reihenfolge der verschiedenen Lichtquellen hinsichtlich ihres Ausstrahlungsvermögens siehe auch Lummer, Licht und Leuchten, Vortrag am 5. Febr. 1897 vor der polytechnischen Gesellschaft zu Berlin.

4) H. Ebert, Wied. Ann. **53**. 160, 1894.

stoff gefüllten Vakuumrohres zwischen den Endkondensatorplatten eines Lecher-schen Drahtsystems hin.

Nach den auf S. 129 angestellten Betrachtungen ist zur Aufrechterhaltung des leuchtenden Zustandes von einem Kubikmeter auf 2 mm verdünnten Wasserstoffgases ein Effekt von 350 Kilogrammmeter pro Sekunde (= 4,66 Pferdekräften) erforderlich.

Entspricht nun die von dem leuchtenden Gase in Form von Licht pro Sekunde ausgestrahlte Energiemenge thatsächlich diesem Kraftaufwande? Den Vergleich ermöglicht eine von E. Wiedemann[1]) ausgeführte Bestimmung des Strahlungsverlustes bei Natriumdampf. Die von 1 g Natriumdampf in Form von gelbem Licht ausgestrahlte Energiemenge ergab sich zu 3.21 Kalorien = 3,21 · 430 = 1380 Kilogrammmeter pro Sekunde.

Da nun Natriumdampf (Molekulargewicht = 23) rund 0,8 mal so schwer als Luft (Molekulargewicht = 28,9) von der gleichen Temperatur und unter gleichem Druck ist und 1 cbm Luft bei Zimmertemperatur und 760 mm Druck etwa 1,3 kg wiegt, so würde 1 cbm Natriumdampf unter den gleichen Bedingungen etwa 1,04 kg wiegen und bei einer Verdünnung auf 0,001 Atmosphäre 0,00104 kg. Nimmt man mit E. Wiedemann an, dass dieser Zustand ungefähr dem des leuchtenden Natriumdampfes entspreche, so wäre der Strahlungseffekt von 1 cbm Natriumdampf = 1,040 · 1380 = $1,4 \cdot 10^4$ Kilogrammmeter pro Sekunde.

Dieses für Natriumdampf, welcher in einem Bunsenbrenner kontinuirlich leuchtet, gefundene Resultat lässt sich nicht ohne Weiteres auf das Leuchten des Wasserstoffes übertragen, da die Oszillationen im Lecher'schen Drahtsystem nicht kontinuirlich erfolgen, sondern nur beim Ueberspringen eines Primärfunkens. Nimmt man an, dass im Ganzen nur während eines Zehntels einer Sekunde Oszillationen vorhanden sind, so wäre die Energie der Strahlung nur $1,4 \cdot 10^3$ = 1400 Kilogrammmeter. Nimmt man ferner an, dass auch während einer Schwingung kein kontinuirlicher Strom durch den Wasserstoff geht, sondern in rascher Folge, wie auf S. 156 ausgeführt, Partialentladungen eintreten, welche nur etwa den vierten Theil der ganzen Dauer der Schwingung in Anspruch nehmen, so wäre die Strahlungsenergie nur 1400 : 4 = 369 Kilogrammmeter pro Sekunde = 4,9 Pferdekräfte. Wie man sieht, steht dieses Resultat in guter Uebereinstimmung mit dem Ergebniss für die zugeführte Energie, welche 4,66 Pferdekräfte betrug.

Wäre die Rechnung zutreffend, so würde sie also beweisen, dass der elektrische Wirkungsgrad einer Geissler'schen Röhre thatsächlich unter Umständen 100 Prozent betragen kann.

Die vorhandenen Messungen gestatten keine sichere Prüfung dieses Ergebnisses.

---

1) E. Wiedemann, Wied. Ann. **37**, 177, 1889.

Nach G. Staub[1]) beträgt der Wirkungsgrad Geissler'scher Röhren 32,8 Prozent, während er nach Blattner für gewöhnliche Glühlampen im Maximum 10 Prozent ist. Er wächst mit der Dichte und Menge der bei jeder Entladung durch die Röhre gehenden Elektrizität, nimmt ab mit wachsendem Druck und zunehmendem Durchmesser der Kapillaren. Er ist ferner für Wasserstofffüllung kleiner als bei Füllung mit Luft.

Nach den Bestimmungen von K. Angström[2]) beträgt für Stickstoff und Wasserstoff bei 1 mm Druck in Geissler'schen Röhren in Strahlung umgesetzte Theil der Stromarbeit 3,6 bezw. 1,3 Prozent.

Nach Simonsen[3]) entspricht bei Geissler'schen Röhren von bestimmter Qualität eine Kerze Leuchtkraft einem Energieaufwand von 179,8 Watt, bei einer Glühlampe dagegen etwa 3 Watt.

Nach B. u. F. Bourne[4]) würde eine Röhre von nur einer Kerze Lichtstärke etwa 2 Pferdestärken Energie absorbiren. Nach H. Ebert[5]) würde dagegen eine Pferdekraft ausreichend sein 46 Millionen Lumineszenzlampen von je 16 Normalkerzen zu speisen.

D. Wirkung des Magnetismus auf Licht.

Eine sehr interessante Bestätigung hat neuerdings die elektromagnetische Lichttheorie durch die Untersuchungen von Zeemann[6]) erfahren. Werden nämlich die Lichtschwingungen durch Bewegung elektrisch geladener Atome erregt, so müssen, wie bereits Lorentz aus der Theorie vorhersagte, die Spektrallinien durch Einwirkung einer magnetischen Kraft auf das leuchtende Gas verbreitert werden und ausserdem am einen Rande links-, am andern rechts zirkular polarisirt erscheinen, falls der Strahl die Richtung der magnetischen Kraftlinien hat. Für einen Strahl senkrecht zur magnetischen Kraft müssen beide Ränder der Spektrallinien sich senkrecht zu dieser Richtung linear polarisirt erweisen. Diese Folgerungen der Theorie fand Zeemann vollkommen bestätigt, nachdem schon früher Fievez[7]) gefunden hatte, dass die Natriumlinien bei Einwirkung eines Magneten auf eine Natriumflamme verbreitert erscheinen, und ähnlich, wenn auch schwächer, die Linie des Thalliums, sowie die rothen Linien des Kaliums und Lithiums.

1) G. Staub, Beibl. **14**, 538, 1890.

2) K. Angström, Abh. d. Kgl. Ges. d. Wissensch. zu Upsala, 1892.

3) Simonsen, Beibl. **17**, 236, 1893.

4) B. u. F. Bourne, Beibl. **17**, 238, 1893.

5) H. Ebert, Wied. Ann. **53**, 160, 1894. Vgl. auch O. L., Elektrizität und Licht, S. 361. Die dort gemachte Bemerkung trifft nicht zu, da nach Ebert die Wärmestrahlung der Lumineszenzlampen fast = 0 ist.

6) Zeemann, Ueber den Einfluss einer Magnetisirung auf die Beschaffenheit des durch einen Stoff ausgesandten Lichtes, Zillingsversl. Kon. Akad. v. Wet. Amsterdam, 181, 242, 1896/97, Beibl. **21**, 138 und Phil. Mag. **44**, 55, 1897, Beibl. **21**, 765.

7) Fievez, Bull. Ac. Belg. (3) **9**, 381, 1885. Vgl. auch Michelson, Phil. Mag. (5) **44**, 55, 1897 und Lorentz, Wied. Ann. **63**, 278, 1897.

Bei einer Leuchtgas-Sauerstoffflamme, welche mit NaCl gefärbt wurde, liessen sich die Na-Linien auf das 3—4fache ihrer anfänglichen Breite ausdehnen. Ebenso die Absorptionslinien, welche durch Na-Dampf in einer zwischen den Magnetpolen angebrachten Porzellanröhre erzeugt wurden.

Aus der Drehungsrichtung der zirkularen Strahlen war zu schliessen, dass nur positive Ionen sich bewegen oder wenigstens grössere Bahnen beschreiben. Bezeichnet e die (elektromagnetisch gemessene) Ladung eines positiven Ions, m dessen Masse, so ergab sich $e/m = 1{,}6 \cdot 10^7$. Es liess sich auch in Uebereinstimmung mit der Theorie durch genügend starke magnetische Kraft eine Spektrallinie in zwei beziehungsweise links- und rechts zirkularpolarisirte Linien (Doublet) spalten, sowie auch (bei Beobachtung senkrecht zu den Kraftlinien) in drei, von welchen die mittlere aus horizontal-, die beiden andern aus vertikal-polarisirten Linien bestand (Triplet). Zu diesen letzteren Beobachtungen zeigte sich namentlich die blaugrüne *Cd*-Linie ($\lambda = 480$) geeignet.

W. König[1]) giebt verschiedene Methoden an, durch welche sich diese Erscheinungen mit einfachen Mitteln demonstriren lassen, auf welche aber hier nur verwiesen werden kann.

E. Krystallinische Flüssigkeiten.

Für die elektromagnetische Lichttheorie spricht auch das Verhalten der Krystalle. Betrachtete man früher die Doppelbrechung der Krystalle als eine Folge der Verschiedenheit der Elastizität nach verschiedenen Richtungen, so lassen die neueren Untersuchungen über flüssige Krystalle oder krystallinische Flüssigkeiten[2]) erkennen, dass die Doppelbrechung in keiner direkten Beziehung zur mechanischen Elastizität steht, vielmehr anzunehmen ist, dass die Anisotropie jedes einzelnen Moleküls, d. h. die Verschiedenheit der Dielektrizitätskonstante desselben nach verschiedenen Richtungen die eigentliche Ursache sein muss.

F. Dispersion und Absorption.

Als Ursache der Dispersion und Absorption des Lichtes betrachtet Helmholtz[3]) das Mitschwingen elektrisch geladener Atome beim Auftreffen von elektromagnetischen Schwingungen, worauf insbesondere auch die Erscheinungen der anomalen Dispersion hinweisen.

Gerade nach dieser Richtung hin ist die elektromagnetische Lichttheorie noch am wenigsten entwickelt. Es möge deshalb genügen auf das genannte Werk, sowie dasjenige von Drude[4]) hinzuweisen.

---

1) W. König, Wied. Ann. **62**, 240, 1897.

2) O. L., Wied. Ann. **40**, 401; **41**, 525, 1890; **56**, 771, 1895. Zeitschr. f. Krystallogr. **18**, 457, 1890. Zeitschr. f. phys. Chemie, **5**, 427, 1890; **18**, 91, 1895. Schenk, Habilitationsschr. Marburg, 1897.

3) H. v. Helmholtz, Vorlesungen über theoretische Physik, Bd. V: Vorlesungen über die elektromagnetische Theorie des Lichtes, herausgegeben von A. König und C. Runge, Hamburg, Voss, 1897.

4) Drude, Physik des Aethers, Stuttgart, Encke, 1894.

Neuerdings hat J. Königsberger[1]) durch Beobachtung von Krystallen gefunden, dass die Absorption im Wesentlichen durch das chemische Molekül, nicht durch den Aggregatzustand (allotrop. Mod.) bedingt ist, und dass Substanzen mit ähnlich konstituirten Molekülen ein ähnliches Absorptionsspektrum besitzen.

G. Fluoreszenz und Phosphoreszenz.

Die noch völlig unaufgeklärten Erscheinungen der Fluoreszenz und Phosphoreszenz lassen sich vom Standpunkte der elektromagnetischen Lichttheorie vielleicht in der Weise deuten, dass durch die elektrischen Wellen eine Lockerung der Atome im Molekül stattfindet, eine Art unvollständiger Zersetzung, welche mehr oder minder rasch nach Aufhören der Lichtwirkung wieder rückgängig wird.

Die Figg. 334—346 zeigen einige der üblichen Formen von Geissler'schen Röhren[2]), bei welchen durch Anwendung fluoreszirender Gläser oder mit fluoreszirenden Flüssigkeiten gefüllter Hüllen um die Röhren schöne Lichteffekte erzielt werden. Nähere Beschreibung derselben erscheint überflüssig.

Von besonderem Interesse sind die Untersuchungen über polarisirte Fluoreszenz,[3]) da sie erkennen lassen, dass das Fluoreszenzlicht durch Schwingungszustände der Moleküle hervorgerufen wird, da sich sonst nicht erklären liesse, weshalb die Lichtschwingungen in regelmässiger Weise gegen die Achsen des Krystalls orientirt sind.

Ferner ist von Interesse die Beobachtung von Bardetscher,[4]) dass phosphoreszirende Substanzen stark abgekühlt fast momentan erlöschen und erst beim Wiedererwärmen, selbst nach monatelanger Aufbewahrung im absolut dunkeln Raum fortfahren zu leuchten, ja bei Erwärmung auf sehr hohe Temperatur momentan stark aufblitzen, um dann für immer zu erlöschen. Hieraus scheint deutlich zu folgen, dass durch Belichtung eine chemische Veränderung erfolgt, welche in der Kälte andauert, bei mässiger Erwärmung langsam, bei starker plötzlich zurückgeht und dabei wieder Licht erzeugt. Da zwischen Fluoreszenz und Phosphoreszenz keine scharfe Grenze zu ziehen ist, muss Gleiches auch für die Fluoreszenz gelten.[5])

---

1) J. Königsberger, Beibl. **21**, 414, 1897.

2) Zu beziehen von Dr. H. Geisslers Nachf., Franz Müller in Bonn.

3) Siehe G. C. Schmidt, Wied. Ann. **60**, 740, 1897, wo auch die übrige Litteratur angegeben ist.

4) Bardetscher, Beibl. **16**, 743, 1888.

5) Vgl. auch Pictet, Beibl. **19**, 244, 1895.



Fig. 334.



Fig. 335.

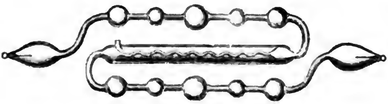


Fig. 336.



Fig. 337.



Fig. 338.

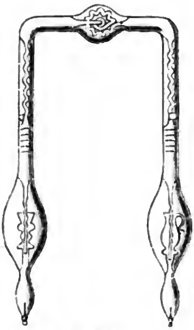


Fig. 339.



Fig. 340.



Fig. 341.

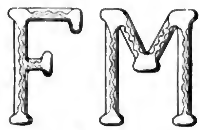


Fig. 342.



Fig. 344.



Fig. 343.



Fig. 345.



Fig. 346.

64. Strahlen von Hittorf, Goldstein, Lenard, E. Wiedemann, Röntgen, Becquerel, Muraoka und Sagnac.

A. Hittorfs (innere) Kathodenstrahlen.

Stärker brechbar als die sichtbaren Lichtstrahlen, d. h. von kürzerer Wellenlänge, sind die ultravioletten Strahlen, welche sich hauptsächlich durch ihre chemische Wirkung und ihre Fähigkeit Fluoreszenz zu erregen, kundgeben. Noch stärker brechbar als die gewöhnlich benutzten ultravioletten Strahlen, sind die von Hertz[1]) entdeckten Strahlen des elektrischen Lichtbogens, welche ihre Anwesenheit durch ihre Wirkung auf elektrische Funken kundgeben, sowie die „Flussspathstrahlen" von Winkelmann und Straubel (Beibl. **20**, 422, 808, 1896).

Alle diese Strahlen sind aber sicher gleicher Natur wie die Lichtstrahlen, somit als gewöhnliche elektrische Strahlen zu deuten.

Ausser denselben giebt es nun noch eine Anzahl anderer Strahlen unbekannter Natur, die in Kürze hier Erwähnung finden sollen.

Schon Plücker war der Ansicht, dass sich im negativen Glimmlicht der Entladungsprozess in eigenthümlicher, nicht direkt durch den Stromverlauf bedingter Weise vollziehe. Er sprach zuerst von (Kathoden-) Strahlen.[2]) Hittorf deutete diese als eine Wellenbewegung im Aether.

Das Verhalten der Kathodenstrahlen wurde oben schon eingehend betrachtet. Der dargelegten Auffassung zufolge sind sie nur scheinbar Strahlen, in Wirklichkeit Strombahnen, was sich auch dadurch kundgiebt, dass sie von Magneten abgelenkt werden, wie Ströme negativer Partikelchen, die von der Kathode ausgehen.

J. Precht[3]) äussert sich auf Grund seiner Versuche: „Wo magnetisch abgelenkte Kathodenstrahlen eine Glaswand treffen, endigen sie nicht, sondern die Glaswand wird Ausgangsstelle eines neuen Kathodenstrahlenbündels, das wie das erste in seinem Verhalten durchaus dem Biot-Savart'schen Gesetze folgt.[4]) Die Lage dieser sekundär abgelenkten Kathodenstrahlen lässt sich dadurch vorausbestimmen, dass das letzte Element der auf die Glaswand auftreffenden Kathodenstrahlen an dieser so reflektirt wird, wie es an einer gegen die Richtung der Kraftlinien senkrechten Wand geschehen würde." ....

Durch Anwendung sehr starker magnetischer Kräfte konnte Precht auch in Luft von gewöhnlichem Drucke bei starken Induktionsfunken (also bei höherer Temperatur, d. h. verminderter Dichte) eine Ablenkung des blauen negativen Lichtes von gleicher Art wie im Vakuum erhalten.

1) Hertz, Wied. Ann. **31**, 983, 1887 und oben S. 208.

2) Die Benennung Kathodenstrahlen rührt von Goldstein her.

3) J. Precht, Wied. Ann. **61**, 335, 1897.

4) Diese Behauptung geht wohl zu weit, da sich das Biot-Savart'sche Gesetz auf die Grösse der Kraft bezieht, hinsichtlich deren sich auch den fraglichen Versuchen nichts entnehmen lässt.

Merkwürdig und anscheinend wenig zu der gemachten Annahme stimmend sind indess die Versuchsresultate von W. Kaufmann[1]), welcher die Ablenkbarkeit der Kathodenstrahlen (gemessen durch den Krümmungsradius derselben) unter verschiedenen Versuchsumständen bestimmte und zu dem Ergebniss gelangte, dass dieselbe nur abhängig ist von der Potentialdifferenz der Elektroden, nämlich mit der Quadratwurzel derselben wächst, dass sie dagegen ganz unabhängig ist von dem Gasdruck, von der Natur des Gases und der Elektroden und anderen Umständen, ausser insoweit dieselben die Potentialdifferenz der Elektroden beeinflussen.

Für die Annahme, dass die Kathodenstrahlen einen Theil der Strombahn bilden, sprechen umgekehrt die Beobachtungen von A. A. C. Swinton[2]), welcher erhebliche Verminderung des Widerstandes einer Vakuumröhre fand, wenn die Kathodenstrahlen durch einen kräftigen Magneten zu einem dünnen Bündel vereinigt wurden[3]), was sich augenscheinlich durch die stärkere Erhitzung und Verdichtung der Luft in der Entladungsbahn in diesem Falle erklärt.[4])

Ganz unverständlich vom Standpunkte der Strahlungstheorie ist die von E. Wiedemann und G. C. Schmidt[5]) gemachte, mit den sonstigen Erfahrungen in Einklang stehende Beobachtung, dass die elektrische Schirmwirkung eines Vakuumrohres, d. h. die Leitungsfähigkeit des von der Entladung durchsetzten Gases im dunkeln Kathodenraum auffallend gering ist.

Dass sich die Strahlen keineswegs streng geradlinig fortpflanzen, wie es der Fall sein müsste, wenn es sich um eine dem Licht verwandte Art von Strahlen handelte, geht schon aus den auf S. 342 besprochenenen Erscheinungen hervor.

Nach A. A. C. Swinton[6]) divergiren die von einer Hohlkathode ausgehenden Strahlen nicht gleich hinter dem Fokus, sondern bilden zunächst einen Faden, der um so länger ist, je höher die Verdünnung. In diesem Faden findet entgegen den Ergebnissen obiger Untersuchungen eine wirkliche Durchkreuzung der Strahlen statt. Der Punkt, wo der Faden beginnt, ist stets weiter von der Kathode entfernt, als das Krümmungscentrum und zwar um so mehr, je höher die Verdünnung. Am Ende löst sich der Faden in einen Hohlkegel von Strahlen auf, dessen Winkel dem des konvergirenden Kegels entspricht. Auch letzterer ist hohl.

Durch Einschalten von aus Spitzen und Platten bestehenden Funkenstrecken vor die Kathode und das Malteserkreuz einer Crookes'schen Entladungs-

1) W. Kaufmann, Wied. Ann. **61**, 544, 1897.

2) A. A. C. Swinton, Proc. Roy. Soc. **60**, 179, 1896.

3) Aehnliche Beobachtungen machten auch Warburg, Wied. Ann. **62**, 394, 1897 und Paalzow und Neesen, Wied. Ann. **63**, 209, 1897.

4) Vgl. auch K. E. F. Schmidt, Ueber die Ablenkung der Kathodenstrahlen durch elektrische Schwingungen, Halle a. S., Max Niemeyer, 1897.

5) E. Wiedemann und G. C. Schmidt, Wied. Ann. **62**, 460, 1897.

6) A. A. C. Swinton, Proc. Roy. Soc. **61**, 79, 1897.

röhre erhielt P. de Heen[1]) sehr verschieden grosse Schattenbilder des Kreuzes. Die kleinsten entstanden bei direkter Verbindung.

Auch die Deflexionserscheinungen (S. 372) lassen sich vom Standpunkte der Strahlentheorie nicht verstehen. (Vgl. dagegen Kaufmann und Aschkinass, Wied. Ann. **62**, 588, 1897.)

Den Untersuchungen von Bernstein[2]) zufolge üben zwei parallele Kathodenstrahlen nicht, wie aus dem Versuche Fig. 238 zu folgen scheint, eine abstossende Wirkung auf einander aus, vielmehr ist die Erscheinung wesentlich komplizirter und scheint zweierlei Ursachen zu haben: „erstens eine elektrostatische Wirkung zweier Kathodenplatten auf einander und eine Veränderung des Feldes durch die ablenkenden Kathoden, zweitens eine ablenkende Wirkung zweier sich in einem Winkel treffender Kathodenstrahlen, welche beim rechten Winkel ein Maximum erreicht und vielleicht dem Sinus desselben proportional ist."

Auch nach Ansicht von Deslandres[3]) beruht die gegenseitige Abstossung von Kathodenstrahlen auf der gegenseitigen Durchdringung schräger Strahlen, welche die beiden Kathodenstrahlenbündel begleiten. Umgiebt man die eine Kathode mit einem langen Glimmercylinder, welcher diese schrägen Strahlen abschneidet, so bleibt die Abstossung aus. Die Anode übt nach den Beobachtungen des gleichen Autors auf Kathodenstrahlen, wie auch Majorana gefunden hatte, eine Anziehung aus, welche indess erheblich schwächer ist, wie die Abstossung durch eine zweite Kathode. (Vgl. auch S. 342.)

Nach S. P. Thompson[4]) sollen Anoden eine schwache Kontraktion der durch Kathodenstrahlen erzeugten Schatten bewirken. Sind die Kathodenstrahlen Strombahnen, so muss die Stelle der Glaswand, wo sie endigen, die Rolle einer Elektrode spielen, man wird dort also chemische Aenderungen erwarten dürfen.

In der That erleidet die Glaswand daselbst eine dauernde Veränderung, wie Precht[5]) bei einer Crookes'schen Röhre mit Aluminiumkreuz konstatirte. „Auch ohne dass das Kreuz vorher einen Schatten auf die Glaswand geworfen hatte, leuchteten die dem Schattenkreuz entsprechenden Glastheile heller als die Umgebung, man sah bei heruntergeklapptem Aluminiumkreuz stets ein helles Kreuz in dunklem Feld auf der Glaswand, die Umgebung musste also durch frühere Bestrahlungen dauernd verändert sein."

Hierher gehört auch die bereits auf S. 339 besprochene, von Becquerel[6]) und Goldstein entdeckte künstliche Färbung der Alkalihaloidsalze.

Durch eingehende Untersuchungen hat allerdings Abegg[7]) festgestellt, dass speziell bei der Färbung der Alkalichloride durch Kathodenstrahlen kein Chlor

1) P. de Heen, Beibl. **21**, 451, 1897; C. R. **124**, 458, 1897.
2) Bernstein, Wied. Ann. **62**, 415, 1897.
3) Deslandres, C. R. **124**, 678, 1897.
4) S. P. Thompson, Proc. Roy. Soc. **61**, 481, 1897.
5) Precht, Wied. Ann. **61**, 343, 1897 und Gouy, siehe oben S. 343.
6) Becquerel, C. R. **101**, 209, 1885.
7) Abegg, Wied. Ann. **62**, 425, 1897.

entweicht, da sich freiwerdendes Chlor in sehr deutlicher Weise durch Verschlechterung des Vakuums hätte kundgeben müssen; ferner dass auch kein freies Alkalimetall in den gefärbten Salzen vorhanden ist, da beim Auflösen derselben in Wasser keine Spur einer alkalischen Reaktion zu beobachten war.

Gelbes Bromsilber wurde unter Einfluss der Kathodenstrahlen dunkelgrau, ebenso wie im Sonnenlicht, nahm aber beim Erwärmen wieder die frühere gelbe Farbe an und konnte dann aufs neue grau gefärbt werden, war also nicht chemisch geändert. Dass keine spurenweise dauernde chemische Zersetzung bei der Färbung der Alkalihaloidsalze auftritt, ist daraus zu schliessen, dass die Krystalle beliebig oft gefärbt und durch Erhitzen wieder entfärbt werden können, ohne die geringste bleibende Veränderung zu erleiden. Hieraus darf man aber meines Erachtens nicht den Schluss ziehen, dass die Aenderung eine rein physikalische sei. Vermuthlich handelt es sich um eine chemische Lockerung der Moleküle im Krystall, welche nicht soweit fortschreitet, dass Zerstörung der Krystallstruktur eintritt. Dass den Atomen in den Krystallmolekülen eine gewisse Beweglichkeit zukommt, geht aus den Beobachtungen über Elektrolyse des krystallisirten Jodsilbers hervor.[1])

Nach F. Kreutz und F. Giesel[2]) können die fraglichen Färbungen von Alkalihaloidsalzen auch dadurch erhalten werden, dass man klare wasserfreie Krystalle dieser Salze mit Alkalimetallen zusammen in geschlossenen Glasröhren bis nahe zur Rothgluth erhitzt.

So färbten sich Bromkalium und Jodkalium cyanblau, Chlorkalium dunkelheliotrop, Chlornatrium gelb bis braun. Die Färbungen durchdringen[3]) die ganze Masse, ohne deren Klarheit und Durchsichtigkeit zu beeinträchtigen.

In Wasser gelöst geben die Krystalle eine farblose Lösung, aus welcher sie auch wieder farblos auskrystallisiren.

Ebenso wie die durch Kathodenstrahlen gefärbten Krystalle und das natürliche blaue Steinsalz verlieren die durch Alkalimetalldämpfe gefärbten Krystalle beim Erhitzen an freier Luft bis zu dunkler Rothgluth ihre Färbung.[4])

Die künstlich gelb oder braun gefärbten Steinsalzkrystalle nahmen beim Erhitzen zunächst andere Farben, wie rosa, blauviolett und cyanblau an, welche man durch rasches Erkalten festhalten konnte.

---

1) O. L., Elektrizität und Licht, S. 254; Wied. Ann. **34**, 18, 1885.

2) Kreutz, Fortsch. **52** (1) 152, 1896 und F. Giesel, Ber. d. d. chem. Ges. **30**, 156, 1897.

3) An einer mir von den Herren Elster und Geitel freundlichst überlassenen Probe konnte ich mich hiervon überzeugen. (Vgl. auch Elster und Geitel, Wied. Ann **62**, 599, 1897; dieselben beobachteten, dass diesen gefärbten Salzen auch lichtelektrische Empfindlichkeit zukommt.)

4) Auch hiervon habe ich mich selbst überzeugt. Die Krystalle blieben dabei durchaus klar und homogen und behielten die Farbe im Innern länger als an der Oberfläche, so dass ein theilweise entfärbter Krystall einen dunkeln Kern zeigte, dessen Färbung nach aussen hin sich allmählich verlor, somit ein stetiger Uebergang der Farbe bis zur vollkommen farblos gewordenen Rindenschicht stattfand.

Dass es sich hierbei um eine feste Lösung von Alkalimetall in den Krystallen handelt, die sich durch Gewichtszunahme bei der Färbung bezw. Gewichtsabnahme bei der Entfärbung verrathen müsste, scheint mir nicht erwiesen, vielmehr sprechen die Beobachtungen von Abegg direkt dagegen. Vielleicht handelt es sich um eine Wirkung unsichtbarer, von den Alkalimetallen ausgehender Strahlen auf die Struktur der Krystalle analog der Wirkung der Kathodenstrahlen.[1])

Auch die grosse Schnelligkeit, mit welcher die Färbung beim Erhitzen über eine bestimmte Temperatur verschwindet, scheint mir bestimmt darauf hinzuweisen, dass es sich nicht um feste Lösungen, d. h. Diffusion der Metalldämpfe in die Krystalle oder aus denselben heraus handeln kann, denn diese Diffusionsgeschwindigkeit müsste von einer ganz anderen, viel höheren Grössenordnung sein als selbst die Geschwindigkeit der Diffusion von Gasen in Gasen, was in direktem Widerspruch steht mit den sonstigen Erfahrungen, dass Diffusion von Gase in dichtere Körper langsamer stattfindet als in Gase und auch ganz besonders damit, dass bis jetzt überhaupt noch kein Fall wirklicher fester Lösung in Krystallen hat konstatirt werden können.[2]) Beobachtet sind bisher nur Mischkrystalle.

Dass sich die Oberflächenschichten rascher entfärben als tiefer gelegene Schichten, dürfte auf der rascheren Erhitzung der ersteren in Folge der schlechten Wärmeleitung der Krystalle beruhen.

Weinschenk[3]) weist darauf hin, dass z. B. farbloser Olivin durch Erhitzen rothbraun wird in ähnlicher Weise, wie farblose Salze und Mineralien unter dem Einfluss von Kathodenstrahlen gleichmässige dunkle Färbung annehmen.

Mit den Lichtstrahlen haben die Kathodenstrahlen anscheinend die Fähigkeit der Phosphoreszenzerregung gemein. W. Arnold[4]) theilt darüber nach Versuchen mittelst eines von E. Wiedemann und G. C. Schmidt[5]) angegebenen Apparates[6]) mit äusserer Kathode Folgendes mit:

Zinksulfid leuchtet sehr schön, besonders in der unter der Bezeichnung Sidot'scher Blende auf komplizirtem Wege gewonnenen Modifikation.

Als „feste Lösungen“[7]) in Zinksulfid leuchteten die Sulfide von Li, Cr, Cd grün, Cu blau, Fe, Pb, Sr, Ag nicht.

1) O. Lehmann, Verh. d. Karlsr. Nat. Vereins, Oktober 1897, Karlsruher Zeitung Nr. 501, 18. Nov. 1897, Bad. Landeszeitung Nr. 268, S. 1067, 1897.

2) O. L., Wied. Ann. **51**, 65, 1894. Vgl. dagegen das Verhalten der Zeolithe nach Klein (Zeitschr. f. Kryst. **9**, 38, 1884) und Rinne (N. Jahrb. f. Min. **2**, 17, 1897) und des Magnesiumplatincyanürs nach v. Buxhörden u. G. Tamann, Zeitschr. f. anorg. Chem. **15**, Heft 4, 1897.

3) Weinschenk, Zeitschr. f. anorg. Chem. **12**, 375, 1896 und Zeitschr. d. d. geolog. Ges. 1896, 704.

4) W. Arnold, Wied. Ann. **61**, 314, 1897.

5) E. Wiedemann und G. C. Schmidt, Wied. Ann. **54**, 604, 1895.

6) Aehnlich eingerichtete vereinfachte Demonstrationsapparate sind zu beziehen von dem Universitätsmechaniker Böhner in Erlangen zum Preise von 2 Mk. 50 Pfg.

7) d. h. gleichzeitig mit Zinksulfid in wässriger Lösung (also wohl in Form von Mischkrystallen) niedergeschlagen. Der Ausdruck feste Lösungen dürfte nicht zutreffen.

Bei den Sulfiden von As, Sb, Cu, Ag, Hg, Th, Cs, Sn, Pb, Bi, Vd, Wo, Mn, Fe, Co konnte eine Lumineszenz nicht beobachtet werden.

Selenide leuchten nur schwach, Telluride gar nicht.

Cyanide sind nur schwach erregbar.

Wolframate der Erdalkalien leuchten blau, $(NH_4)WO_4$ und $MnWO_4$ rosa; K_2WO_4 und Na_2WO_4 weissblau, $ZnWO_4$ und $PbWO_4$ und Wolframbronzen nicht.

Prachtvoll blau leuchtet $CaWO_4 + CuWO_4$ (Scheelit); $CaWO_4 + MnWO_4$ leuchtet rosa, $CaWO_4 + ZnWO_4$ und $CaWO_4 + FeWO_4$ nicht.

Von Sulfaten leuchtete $CaSO_4$ röthlich gelb, $CaSO_4$ mit $MnSO_4$ schön grün, mit $CuSO_4$, $ZnSO_4$, $NiSO_4$, $CoSO_4$, Li_2SO_4 rosa, mit $WoSO_4$ röthlich.

$BaSO_4$ blau, mit den Sulfaten von Cr, Bi, Yt, Ce, Pd, Ru, Al, Fe, Co, Zn, Ni, Co, Se, Wo bläulich.

$SrSO_4$ rosa, mit den Sulfaten von Cu, Ni, Zn, Cr, Wo wenig blau, mit Ur gelblich.

$MgSO_4$ roth, mit $MnSO_4$ schön roth, mit Cd schön gelb, mit Ni, Co gelblich, mit Bi, Cr, Li, Ur, Pd. Cu, Cs, Vd, Be, Zo hellblau, mit Fe, Te, Ag nicht.

L_2SO_4 schön blau, mit Cu blau, Mn röthlich, Fe gelb, Ag nicht.

$CdSO_4$ gelb, mit Fe, Be, Ur, Li, Cr, Ni, Ce, Bi, Wo, Mn, Ze, Co gelblich, mit Se und Va lila, mit Ag nicht.

Von Aluminiumverbindungen leuchten Al_2O_3 nicht, Al_2O_3 + Cr roth, Al_2O_3 + Cu blau, Al_2O_3 + Mn grün, Al_2O_3 + Wo gelbroth, Al_2O_3 + Se nicht.

Anorganische Uransalze leuchten grün, am besten Uranylfluorammonium.

Wismuthoxyd leuchtet rein schön blau, Zusätze von Zn, Mn, Cn, Fe, Wo vernichten die Lumineszenz.

Silbersalze leuchteten für sich nicht und zerstörten als gelöste Körper zugesetzt jede andere Lumineszenz.

Aehnlich verhalten sich, wie bereits E. Wiedemann und G. C. Schmidt fanden, die Salze von Eisen, Kobalt und Nickel, doch hängt die Wirkung ab von dem Lösungsmittel. Sie steigerten die Lumineszenzfähigkeit in folgenden Kombinationen: $CaS + CuS$, $Li_2SO_4 + FeSO_4$, $CaS + NiS$, $CaSO_4 + NiSO_4$, $BaSO_4 + NiSO_4$

Von organischen Körpern leuchteten: Hämatoxylin schwach roth, Sulfanilsäure gelb, Saligenin grün, Phloroglucin blau, Caffein rosa, Eikonogen blau, Hippursäure grün, Resorcin weiss, Acetanilid blau, Phenantren schön blau, Aesculin blau.

Theerfarbstoffe in Gelatine gelöst leuchteten nicht, obschon sie im Sonnenlicht schöne Fluoreszenz zeigten.

Die anderen Körper, welche Kathodolumineszenz zeigten, waren auch durch Sonnenlicht erregbar, indess wesentlich schwächer. Auch zeigten sie in diesem Falle meist nicht wie nach Belichtung durch Kathodenstrahlen Thermolumineszenz.

Nach A. A. C. Swinton[1]) fluoreszirt auch Kohle unter dem Einfluss von Kathodenstrahlen in Vakuumröhren.

Hertz versuchte über die Natur der Kathodenstrahlen näheren Aufschluss zu erhalten, indem er prüfte, ob sie im Stande sind, durch feste Körper hindurchzugehen.[2])

Hierbei beobachtete er, dass sie Glas zu durchdringen vermögen, indem er eine Uranglasplatte mit einigen Blattgold- und Glimmerblättchen beklebte und sie mit der beklebten Seite der Kathode gegenüber in einer Entladungsröhre befestigte. „So lange die Luftverdünnung noch nicht weit vorgeschritten ist und die Kathodenstrahlen als dichter blauer Lichtkegel das ganze Entladungsrohr füllen, phosphoreszirt das Glas nur ausserhalb der goldbelegten Stelle. Die Phosphoreszenz wird in diesem Stadium hauptsächlich durch das Licht der Entladung bewirkt, von welchem das Blattgold nur einen sehr kleinen Theil hindurchlässt. Wird nun aber bei fortschreitender Verdünnung das Innere des Entladungsrohres mehr und mehr lichtlos und beginnen die eigentlichen Kathodenstrahlen das belegte Glas zu treffen, so beginnt dieses auch hinter der Goldschicht zu phosphoresziren; dies Leuchten nimmt zu und wenn die Kathodenstrahlen ihre lebhafteste Entwicklung erreicht haben, erscheint von der hinteren Seite aus betrachtet das Goldblatt nur noch als ein matter Schleier auf der Glasplatte, hauptsächlich erkennbar an seinen Rändern und an den kleinen Fältelungen, welche es enthält. Man kann kaum sagen, dass es einen Schatten wirft. Die dünnen Glimmerblättchen dagegen, welche wir auf die Goldschicht gelegt haben, werfen durch diese hindurch ihre tiefschwarzen Schatten auf das Glas. Die Kathodenstrahlen durchsetzen also die Goldschicht wie es scheint mit geringem Verluste.“ [3])

Denselben Versuch führte Hertz weiter aus mit Blattsilber, Blattaluminium, unechtem Blattsilber und Blattgold und dünnen Schichten von Silber, Platin und Kupfer, welche chemisch oder durch Kathodenzerstäubung niedergeschlagen waren. (Vgl. auch S. 348.)

Ferner beobachtete Hertz, dass ein Bündel Kathodenstrahlen nach dem Durchgang durch eine mit Blattaluminium verschlossene Oeffnung in einer Metallplatte sich diffus ausbreitet, denn auf einer hinter die Platte gestellten phosphoreszenzfähigen Glasplatte entstand ein Lichtfleck mit verwaschenen Rändern, von um so grösserer Ausdehnung, aber geringerer Intensität, je grösser der Abstand der Glasplatte von der Oeffnung gewählt wurde.

Bei sehr weiter Entfernung erschien das Entladungsrohr hinter dem Diaphragma einfach dunkel. „Dass dies nur an der Schwäche der von der

---

1) A. A. C. Swinton, Proc. Roy. Soc. **61**, 79, 1897.

2) Hertz, Wied. Ann. **45**, 28, 1892.

3) Fasst man die Kathodenstrahlen nicht als Strahlen auf, sondern, wie oben geschehen, als intermittirende Ströme, so sind diese Erscheinungen als Influenzerscheinungen zu deuten, da sich den raschen Potentialschwankungen gegenüber das Blattgold wie ein Isolator verhält. Das Verhalten des Glimmers bleibt aber dann unverständlich.

kleinen Oeffnung ausgestreuten Kathodenstrahlen liegt, zeigt sich, wenn wir in dem Metalldiaphragma viele solche durch Blattaluminium verschlossene Oeffnungen anbringen. Am einfachsten bilden wir für diesen Versuch das Diaphragma aus einem Drahtgitter, welches wir eben gehämmert und auf welchem wir ein Stück Blattaluminium ausgespannt haben. Hinter derartigen Diaphragmen leuchtet das gesammte Entladungsrohr in gleichmässig verbreitetem, mässig hellem Lichte. Die Phosphoreszenz ist hinreichend stark, um zu gestatten, dass wir aus den diffusen Kathodenstrahlen durch weitere Diaphragmen Strahlenbündel ausscheiden können und an diesen uns überzeugen, dass auch nach dem Durchgang durch das Metallblatt die Kathodenstrahlen die Fähigkeit der geradlinigen Ausbreitung, der Ablenkung durch den Magneten u. s. w. nicht verloren haben.

Schliesslich macht Hertz noch darauf aufmerksam, dass auch die von Goldstein[1]) zuerst beobachtete diffuse Reflexion der Kathodenstrahlen an Metallplatten mit diesen Erscheinungen in nahem Zusammenhang stehen muss.

Hertz beobachtete auch die ebenfalls zuerst von Goldstein (1880) konstatirte chemische Wirkung der Kathodenstrahlen in der Röhre durch Schwärzung einer Silberschicht.[2])

Sodann machte er auch Versuche, die Kathodenstrahlen aus der Röhre herauszubringen, welche Versuche später von seinem Assistenten Lenard mit Erfolg fortgesetzt wurden.

Ausgehend von der Vorstellung, dass die Kathodenstrahlen vielleicht Ströme negativ elektrisirter feiner Theilchen seien, prüfte Mc Clelland[3]) (ebenso wie früher Perrin[4])) die elektrische Wirkung derselben, indem er ein dünnes Bündel Kathodenstrahlen durch eine Oeffnung in einem zur Erde abgeleiteten Metallkasten in einen mit einem Quadrantenelektrometer verbundenen Metallbecher fallen liess, in der Erwartung, dass, wenn die Strahlen Ströme negativ elektrisch geladener Partikelchen wären, der Becher negativ elektrische Ladung annehmen müsse.

Diese Erwartung fand sich auch bestätigt, es ergab sich insbesondere, dass, wenn durch einen Magneten die Strahlen so abgelenkt wurden, dass sie nicht mehr durch die Oeffnung des Kastens eindringen konnten, auch die elektrische Wirkung ausblieb.

Wurde in den Weg der Strahlen ein Bleidiaphragma eingeschaltet, dessen Oeffnung mit Aluminiumfolie verschlossen war, so wurde der Becher, wie zu erwarten, ebenfalls noch negativ elektrisirt, indess je nach der Dicke der Aluminiumfolie schwächer.[5])

---

1) Goldstein, Wied. Ann. **15**, 246, 1882.

2) Ueber photographische Wirkungen innerhalb der Vakuumröhren siehe auch Battelli, Beibl. **21**, 781, 1897.

3) Mc Clelland, Proc. Roy. Soc. **61**, 227, 1897.

4) Perrin, C. R. **121**, 1130, 1895.

5) Batelli und Garbasso hatten positive Ladung der von Kathodenstrahlen getroffenen Körper beobachtet. Zu gleichem Ergebniss kommt neuerdings Majorana (Rend. Acc. Lincei (5) **6** II, 16, 1897). Die Erscheinung dürfte demnach verwickelter Natur sein.

B. Lenards (äussere) Kathodenstrahlen.

Lenard[1]) setzte, wie bereits bemerkt, die Versuche von Hertz fort und fand, dass es scheinbar thatsächlich möglich ist, die Kathodenstrahlen durch ein „Aluminiumfenster" auch in Luft austreten zu lassen.

Die in die freie Atmosphäre austretenden Strahlen bringen die Luft zu mattem Leuchten. „Ein Schimmer bläulichen Lichtes umgiebt das Fenster; er ist am hellsten in der Nähe des Fensters selbst, nach aussen hin ohne deutliche Begrenzung; weiter als etwa 5 cm vom Fenster reicht er nicht. Das Licht scheint bei jeder Entladung büschelförmig in allen Richtungen aus dem Fenster zu schiessen; es ist nicht hell genug, um mit dem Taschenspektroskop untersucht zu werden. . . ."

„Phosphoreszenzfähige Körper, in die Nähe des Fensters gehalten, leuchten an der ihm zugewandten Seite hell in dem ihnen eigenthümlichen Lichte. . . ."

„Sehr hell und lange nachleuchtend, strahlen die Erdalkaliphosphore, nicht weniger hell, aber ohne bemerkbares Nachleuchten Pentadecylparatolylketon (grün), Asaron (violett). Eine Sammlung von Platincyanüren gab zum Theil glänzende Erscheinungen, Farbe und Helligkeit stimmte jedesmal mit der im ultravioletten Sonnenspektrum beobachteten überein. Urannitrat gab hell sein charakteristisches Linienspektrum. Nichtleuchtend, wie in evakuirten Röhren, bleibt die am Lichte stark phosphoreszirende Eosingelatine. . . ." „Flüssigkeiten, welche bisher den Kathodenstrahlen nicht zugänglich waren, wurden meist nur wenig oder gar nicht erleuchtet. So Lösungen von Eosin, Fluoreszeïn, Magdalaroth, schwefelsaurem Chinin, Chlorophyll, welche sämmtlich am Tage schön fluoreszirten. . . ."

„Alle Phosphoreszenzerscheinungen im Beobachtungsraum hören auf, wenn ein an die Entladungsröhre gelegter Magnet die Kathodenstrahlen von der Innenfläche des Fensters abhält; auch das Fenster oder die Luft bleiben dann dunkel. . . ."

„Eine $^1/_2$ mm dicke, nicht zu kleine Quarzplatte, an irgend einer Stelle zwischen Fenster und phosphoreszenzfähigem Körper eingeschoben, bringt sein Leuchten zum Verlöschen; ein gewöhnliches echtes oder unechtes Gold-, Silber- oder Aluminiumblatt lässt es ohne merkbare Schwächung bestehen. Die Quarzplatte schneidet auch das Leuchten der Luft ab; von oben herab sehend findet man die Luft wohl zwischen Fenster und Quarz, nicht aber hinter dem Quarz leuchtend. Die Metallblätter dagegen schneiden auch das Leuchten der Luft nicht ab, es ist sehr deutlich auch hinter denselben zu sehen; die Metallblätter selbst bleiben dunkel. . . ."

„Seidenpapier auf einen phosphoreszenzfähigen Schirm gelegt, wirft erst in doppelter Lage einen gut bemerkbaren Schatten, und es ist dabei gleichgültig, ob das Papier weiss, undurchsichtig schwarz oder sonst irgendwie gefärbt ist. . . ." „Ein Kartonblatt von 0,3 mm Dicke hielt alles Leuchten ab."

---

1) Lenard, Wied. Ann. **51**, 225, 1894 und **63**, 253, 1897.

Geblasene Glashäutchen zeigen merkbare Durchlässigkeit schon bei einer Dicke von 0,02 mm. Kleine Wassertröpfchen auf einem Aluminiumblatt erschienen als schwarze Flecken, liessen also die Strahlen nicht hindurch. Dagegen gaben Seifenwasserlamellen nur dann sichtbare Verdunkelung, wenn sie dicker als 0,0012 mm waren.

Ebenso wie die Kathodenstrahlen in Vakuumröhren erwiesen sich auch die in Luft austretenden Strahlen photographisch wirksam. „Lichtempfindliches Kopirpapier ans Fenster gehalten, schwärzt sich etwa ebenso rasch wie am gedämpften Sonnenschein eines nebeligen Tages; hinter einer Quarzplatte bleibt es unverändert. Trockenplatten mit Entwicklung sind auch in grösserem Abstand vom Fenster nach wenigen Sekunden vollkommen geschwärzt. . . .“ „Die photographische Schicht kann bei langer Exposition auch sonst unbemerkbare Wirkungen zum Vorschein bringen. So zeigte sich z. B. ziemlich kräftige Schwärzung hinter dem oben als undurchlässig bezeichneten Kartonblatt von 0,3 mm Dicke. Das Kartonblatt bedeckte die empfindliche Schicht und zwischen beide waren Streifen verschiedener Metallblätter eingelegt. Diese Streifen bildeten sich ganz nach Maassgabe ihrer Durchlässigkeit heller (im Negativ) auf dunklerem Grunde ab und ganz hell blieb die Schicht nur dort, wo ein dicker Metallrahmen über das Ganze gelegt war. Es waren also wirklich Kathodenstrahlen durch das dicke Kartonblatt gegangen. Die Exposition betrug dabei nur zwei Minuten. . . .“

Andere chemische Wirkungen konnten nicht beobachtet werden, nur machte sich beim Durchgang der Strahlen durch die Luft ein deutlicher Ozongeruch bemerkbar.

Die Kathodenstrahlen konnten in das Innere metallisch abgeschlossener Räume eingeleitet und dadurch vollkommen von den sie erzeugenden Kräften getrennt werden.[1])

Elektrische Körper der Bestrahlung ausgesetzt, verloren rasch ihre Ladung, gleichgültig ob sie positiv oder negativ waren.

Eine zwischengeschaltete Quarzplatte von 0,5 mm Dicke hindert diese Wirkung, eine Aluminiumfolie dagegen nicht.

In eine evakuirte Röhre können Kathodenstrahlen ebenso wie in Luft eintreten, selbst wenn das Vakuum so hoch ist, dass die Entladung (in Folge der Ausdehnung des dunkeln Kathodenraumes bis zu den Wänden) nicht mehr hindurchgeht.[2]) Das Innere des Beobachtungsraumes erscheint in diesem Falle ganz dunkel, nur der Phosphoreszenzfleck auf dem Schirm am Ende erscheint ebenso hell oder heller, als wenn die Röhre mit Luft gefüllt wäre. Er ist

---

1) Vgl. auch H. Ebert und E. Wiedemann (Wied. Ann. **62**, 180, 1897), Eindringen der Entladung in geschlossene Behälter aus Drahtnetz, sowie S. 334.

2) d. h. bei der angewandten Spannung. Rasche Schwingungen von gleicher mittlerer Spannung könnten, falls die maximale Spannung dem Entladungsgradienten entspricht, immerhin noch Entladungen hervorrufen. (Vgl. S. 161.)

schärfer begrenzt als in diesem Fall. Durch den Magneten werden die Strahlen wie gewöhnlich abgelenkt.

Da die Kathodenstrahlen auch dann noch ungehindert geradlinig sich ausbreiten und beträchtliche Energiemengen zu übertragen vermögen, wenn der Druck im Beobachtungsraum nur 0,00002 mm beträgt, hält es Lenard für erwiesen, dass die Kathodenstrahlen Vorgänge im Aether sind.

Die Durchlässigkeit verschiedener Gase zeigte sich abhängig von ihrer Dichte. Für unendliche Verdünnung nähert sie sich für alle Gase demselben Grenzwerth, demjenigen für reinen Aether. Je verdünnter die Gase sind, um so weniger werden sie erleuchtet, um so weniger werden die Kathodenstrahlen diffus zerstreut. Die Gase verhalten sich den Kathodenstrahlen gegenüber wie ein trübes Medium, z. B. verdünnte Milch gegenüber den Lichtstrahlen. Je verdünnter sie sind, um so weniger sind sie trüb in Bezug auf die Ausbreitung der Kathodenstrahlen.

„Bei geringerer Verdünnung (in der Entladungsröhre) erzeugte Strahlen verlaufen diffuser als bei höherer Verdünnung erzeugte. Dass es verschiedene Arten von Kathodenstrahlen giebt, „deren Eigenschaften in einander übergehen, welche den Farben des Lichtes entsprechen und welche sich unterscheiden nach Phosphoreszenzerregung, Absorbirbarkeit und Ablenkbarkeit durch den Magnet“, hat schon Hertz[1]) bemerkt.

„Nach dem hier beobachteten Verhalten der Gase zu schliessen, müssen die Aethervorgänge, welche das Wesen der Kathodenstrahlen ausmachen, Vorgänge von so ausserordentlicher Feinheit sein, dass Dimensionen von molekularer Grössenordnung in Betracht kommen. Selbst gegen Licht von kleinster bekannter Wellenlänge verhält sich die Materie noch wie stetig den Raum erfüllend; den Kathodenstrahlen gegenüber ist dagegen das Verhalten selbst elementarer Gase das nicht homogener Medien; es scheint hier schon jedes einzelne Molekül als gesondertes Hinderniss aufzutreten. Gasmoleküle trüben den Aether und es ist sehr bemerkenswerth, dass hierbei keine andern Eigenschaften der Moleküle in Betracht kommen, als allein nur ihre Masse. Die Gesammtmasse der in der Volumeneinheit enthaltenen Moleküle ist bestimmend für die Trübung des Mediums.“

Lenard hält die von ihm gefundenen Strahlen für identisch mit den Plücker-Hittorf'schen Kathodenstrahlen, einestheils weil sie anscheinend die Fortsetzung der hypothetischen Kathodenstrahlen in der Röhre sind und bezüglich des Durchgangs durch Aluminiumfolie gleiches Verhalten zeigen wie diese, dann aber namentlich ihres magnetischen Verhaltens wegen.

Was die erstere Analogie anbetrifft, so wäre aber wohl denkbar, dass dünne Aluminiumfolien sehr raschen Pulsationen des Stromes gegenüber keine Schirmwirkung auszuüben vermögen, so dass sich die Entladungen durch sie

---

1) Hertz, Wied. Ann. **19**, 816, 1883.

hindurch fortzusetzen vermögen, also der Durchgang der Kathodenstrahlen durch dünne Aluminiumfolien nicht ohne Weiteres als Beweis dafür betrachtet werden kann, dass es sich wirklich um „Strahlen“ handelt.

Im magnetischen Felde verhalten sich die Kathodenstrahlen nach Lenard[1]) wie negativ geladene von der Kathode fortgeschleuderte Theilchen. Da sich die Gase gegen die Kathodenstrahlen wie trübe Medien verhalten, so erschien auf dem fluoreszirenden Schirm der zentrale helle Lichtfleck umgeben von einem verwaschenen Hofe. Letzterer änderte indess beständig seine Form und Lage und konnte sogar von dem Kern ganz getrennt erscheinen, so dass er offenbar andern Strahlen als dieser seine Entstehung verdankt und zwar stärker ablenkbaren. Durch den Magneten ist also eine Trennung verschiedener Arten Kathodenstrahlen möglich, man kann gewissermaassen ein Kathodenstrahlenspektrum erzeugen.[2])

Die Krümmung der Strahlen durch den Magneten wurde völlig unabhängig gefunden von der Natur und Dichte eines etwa vorhandenen wägbaren Mediums. Sie war insbesondere auch im Vakuum zu beobachten und ist deshalb nach Lenard nicht eine Folge ponderomotorischer Wirkungen, sondern gemäss der Vorstellung von Hertz[3]) eine direkte Wirkung auf den Aether. Auch hier kann man wohl den Einwand machen, dass möglicherweise die Lenard'schen Strahlen Pulsationen des Stromes (Büschelentladungen) sind, die sich durch die dünne Aluminiumfolie hindurch fortsetzen, vergleichbar den Seitenentladungen an einem von oszillirenden Flaschenentladungen durchsetzten, guttaperchaumhüllten Drahte, bei welchem die Stromschwankungen, insbesondere bei Anwendung von Tesla-Strömen, den ganzen Draht, selbst bei beträchtlicher Dicke der Guttaperchahülle mit langen Büschelstrahlen besetzt erscheinen lassen, die natürlich noch weit grössere Dimensionen annehmen würden, wenn der Draht von einem Vakuum umgeben wäre.[4])

Dass dünne Schichten leitender Körper raschen Potentialschwankungen gegenüber sich wie Isolatoren verhalten, ergiebt sich aus den auf S. 44 besprochenen Versuchen und auch aus der Theorie.[5])

Eine Ablenkung der Strahlen in die Richtung der magnetischen Kraftlinien, wie sie die Kathodenstrahlen in der Vakuumröhre zeigen, hat Lenard nicht beobachtet. Es ist nicht zu ersehen, ob hieran nur die schwache Wirkung der benutzten Magnete Schuld trägt, oder ob ein prinzipiell verschiedenes Verhalten der Lenard'schen Strahlen gegenüber den Plücker-Hittorf'schen Kathodenstrahlen vorliegt.

Wenn die Ablenkbarkeit der Lenard-Strahlen, wie angegeben, unabhängig ist von der Dichte der Luft, so liegt darin jedenfalls ein wesentlicher Unterschied von den Kathodenstrahlen, da die Ablenkbarkeit der Kathoden-

1) Lenard, Wied. Ann. **52**, 23, 1894.
2) Vgl. oben S. 362.
3) Hertz, Wied. Ann. **19**. 799 u. 805, 1883. Vgl. oben S. 357.
4) Vgl. O. L., Wied. Ann. **56**, 343, 1895; dagegen oben S. 492, Anmerk.
5) Vgl. Drude, Physik des Aethers.

strahlen in Röhren, wie oben dargelegt, in hohem Maasse von der Dichtigkeit der Luft abhängt. Diese Punkte bedürfen jedenfalls noch weiterer Aufklärung.

Um diese von Lenard beobachtete Unabhängigkeit der magnetischen Ablenkung von der Dichte des Gases in Uebereinstimmung zu bringen mit der Annahme, die Lenardstrahlen seien Entladungsvorgänge, müsste nothwendig eine sehr unwahrscheinliche Annahme gemacht werden, etwa der Art, dass mit der Zahl von Pulsationen die Ablenkbarkeit zunimmt und die Zahl der Pulsationen der Lenardstrahlen entsprechend grösser ist als die der (kaum ablenkbaren) gewöhnlichen Büschelentladungen.

Nach Mc Clelland[1]) ist der eben besprochene Unterschied nur ein scheinbarer, da sich mit dem Druck in der Röhre auch die Potentialdifferenz der Elektroden und damit die Erzeugungsweise der Kathodenstrahlen ändert. Wurde

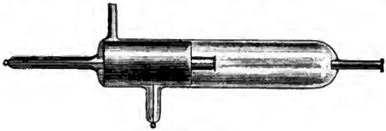


Fig. 347.

bei gleichbleibendem Druck die Potentialdifferenz durch Einschalten einer Funkenstrecke vergrössert, so erhielt man in der That stärker ablenkbare Strahlen, ähnlich wie bei Vergrösserung der Potentialdifferenz durch Verminderung des Druckes.

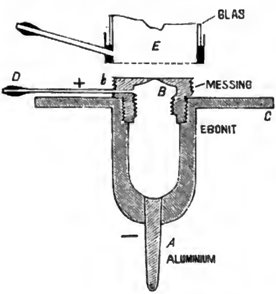


Fig. 348.

Die ursprüngliche Form der Lenardröhre, wie sie von Müller-Unckel in Braunschweig geliefert wird, ist in Fig. 347 dargestellt. Da das Aluminiumfenster nicht absolut dicht hält, muss dieselbe beim Gebrauch stets mit der Pumpe in Verbindung bleiben.

In neuester Zeit hat Des Coudres eine Konstruktion der Lenardröhre bekannt gegeben[2]), bei welcher die Untersuchungen mit viel weniger Schwierigkeiten ausgeführt werden können, als bei der eigentlichen Lenardröhre. Dieselbe ist in Fig. 348 in natürlicher Grösse dargestellt.[3])

Das Rohr besteht aus Ebonit, die Kathode *A* aus Aluminium, die Anode *B*, welche zugleich Fassung für das Aluminiumfenster ist, aus Messing. *C* ist eine Hartgummischeibe, welche das Ueberspringen von Funken ausserhalb des Rohres

1) Mc Clelland, Proc. Roy. Soc. **61**, 227, 1897.
2) Des Coudres, Wied. Ann. **62**, 134, 1897.
3) Zu beziehen von Institutsmechaniker Schlüter in Göttingen.

verhindert. Die Röhre D wird durch einen Gummischlauch mit der Quecksilberluftpumpe verbunden. E ist ein mit Messingfassung und Rohrstutzen versehenes Glasrohr zum Zweck der Beobachtung des Austritts der Lenardstrahlen in verschiedene Gase. Das Fenster besteht aus 0,003 mm dickem („einmal geschlagenem") Aluminium. Es ist mit Marineleim aufgekittet, aber an einer Stelle in metallischen Kontakt mit der Fassung B, um das Ueberspringen kleiner Fünkchen zu verhüten, welche dasselbe leicht undicht machen. Zweckmässig wird aus gleichem Grunde die Fassung B zur Erde abgeleitet, obschon hierdurch die Wirkung beeinträchtigt wird. Das Vakuum braucht nicht sehr hoch zu sein, muss aber stets unter 0,02 mm Quecksilber gehalten werden. Als Stromquelle dient ein Teslatransformator mit drei primären und 60 sekundären Windungen. „Selbst einem grossen Auditorium können Lenard'sche Strahlen mittelst eines steil gegen das Fenster gestellten Baryumplatincyanürschirms gezeigt werden. Der glänzend helle Halbkreis von einigen Centimetern Radius vergrössert sich um etwa ein Viertel, sobald man mit einem Schlauche Leuchtgas gegen das Fenster strömen lässt."

„In freier Luft werden von den Kathodenstrahlen die gleichen chemischen Wirkungen ausgeübt, wie sie von Goldstein[1]) im Erzeugungsrohre beobachtet worden sind. Ein vor das Fensterchen gelegter KCl-Krystall wird beispielsweise violett, $NaCl$ gelbbraun, KBr hellblau. Ganz überraschend empfindlich gegen die Lenardstrahlen sind die Platindoppelcyanüre. Calciumplatincyanürkrystalle bekommen bei häufiger Benutzung als Kathodenstrahlenreagens einen rostbraunen Ueberzug, die Baryumplatincyanürschirme leuchtend orangerothe Flecke."

Ein von den Lenardstrahlen in freier Luft getroffenes Platinblech sandte Röntgenstrahlen aus. Noch besser wirkte Kupferblech.

Luft wurde durch Lenardstrahlen leitend gemacht und das Leitungsvermögen konnte wie in anderen Fällen (z. B. bei durch Phosphor leitend gemachter Luft) durch Entziehung der Ionen mittelst elektrischer Körper wieder aufgehoben werden.[2])

Von besonderem Interesse erscheint folgende Notiz:

„Es ist eine bemerkenswerthe Thatsache, dass die unter dem Einfluss genäherter Leiter „beweglichen" Strahlen dieselben Strahlen sind, welche dünne Schichten fester Körper zu durchsetzen vermögen", d. h. als Lenardstrahlen aus dem Fenster austreten, während dies für die „festen" Kathodenstrahlen nicht gilt.

Diese Bemerkung erscheint insofern auffällig, als Elster und Geitel[3]) diese „beweglichen" Strahlen überhaupt nicht als eigentliche Kathodenstrahlen anerkennen und weil aus früheren Untersuchungen (vgl. S. 374) folgt, dass empfindliche Entladungen stets grob intermittirend sind. Man könnte daraus

1) Goldstein, Wied. Ann. **54**, 371, 1895.

2) Vgl. S. 213.

3) Mittheilung bei der Naturforscherversammlung in Braunschweig 1897.

schliessen, dass die Lenardstrahlen ihrem Wesen nach mit Büschelentladungen verwandt sind, wie ich es früher schon gethan habe.[1])

Um die elektrische Wirkung der Lenardstrahlen ausserhalb der Röhre zu untersuchen, versah Mc Clelland[2]) die Röhre mit einem Fenster von geölter Seide. Die Wirkung war dieselbe wie die der Kathodenstrahlen in der Röhre (S. 493), doch erstreckte sie sich nur bis auf wenige Centimeter Entfernung vom Fenster.

Wurde dem Fenster eine Ebonitplatte einige Sekunden lang in 1 bis 2 cm Entfernung gegenübergestellt und dieselbe sodann mit Mennige-Schwefelpulver bestäubt, so erhielt man eine negative Lichtenberg'sche Figur.

Da natürlich an der Stelle, wo die Kathodenstrahlen auftreffen, nicht endlos negative Elektrizität angehäuft werden kann, so muss von hier, wie auch Mc Clelland betont, ein beständiger Strom negativer Elektrizität nach der Anode gehen. Bisher ist indess der Verlauf dieses Stromes nicht näher untersucht worden.

C. Goldsteins Kanalstrahlen.

Goldstein[3]) hält die durch den Magneten nicht ablenkbare erste Kathodenschicht, den chamoisgelben Lichtsaum, für eine besondere Strahlenart (Kanalstrahlen). Sie haben eine sehr geringe chemische Wirkung und erregen nur äusserst schwache Fluoreszenz.

Auch über das Wesen dieser Strahlen kann man wohl verschiedener Meinung sein.[4])

Nach E. Wiedemann und G. C. Schmidt[5]) verhalten sich von Kanalstrahlen durchsetzte Gase hinsichtlich der elektrischen Schirmwirkung, d. h. des scheinbaren Leitungsvermögens, ganz ebenso wie von Entladungen durchsetzte Gase.

Kanalstrahlen, welche auf eine Kathode fallen, setzen das Entladungspotentialgefälle bedeutend herab. Aus diesem Grunde gehen Transversalentladungen mit Leichtigkeit durch ein von Kanalstrahlen durchsetztes Gas. Selbst bei nur 2 Volt Spannung wurde ein Strom von 10^{-5} Ampère erhalten.

Besonders deutlich tritt der Unterschied der Kanalstrahlen von den Kathodenstrahlen nach Precht[6]) hervor, wenn man ein magnetisches Feld darauf einwirken lässt und ein dünnes Bündel Strahlen dadurch aussondert, dass man die Kathode im Innern einer hohlen Anode anbringt, welche nur an einer engen Oeffnung den Strahlen den Austritt gestattet. Die Kathodenstrahlen werden dann bei geeigneter Lage der Röhre zu einem Ringe umgebogen, während die Kanalstrahlen völlig unbeeinflusst geradlinig weiterschreiten.

---

1) O. L., Wied. Ann. **56**, 343, 1895. Vgl. dagegen S. 492 Anmerk.

2) Mc Clelland, Proc. Roy. Soc. **61**, 227, 1897.

3) Goldstein, Berl. Ber. **39**, 691, 1886.

4) Siehe oben S. 169. S. P. Thompson, Proc. Roy. Soc. **61**, 481, 189, erhielt Kanalstrahlen beim Auftreffen von Kathodenstrahlen auf ein durchlöchertes Metall.

5) E. Wiedemann und G. C. Schmidt, Wied. Ann. **62**, 468, 1897.

6) Precht, Wied. Ann. **61**, 337, 1897; Wien, Verh. phys. Ges. Berlin, **16**, 165, 1897.

Auch die Goldstein'schen Röhren mit fünfeckiger Kathode[1]) eignen sich gut zu diesem Versuch. Bei Annäherung eines Magneten behält der durch die Kanalstrahlen verursachte rothgelbe Phosphoreszenzfleck auf der Glaswand seine Lage unverändert bei, während sich die umgebende grüne Figur (vgl. S. 373) verschiebt.

W. Arnold[2]) benutzte zur Untersuchung der Lumineszenz der Körper, unter dem Einfluss von Kanalstrahlen, den in Fig. 349 abgebildeten[3]) Apparat. K bedeutet die siebartig durchbrochene Kathode, A die Anode, s ist ein Schliff, v eine Hülse zum Einstecken von Trägern für die lumineszirenden Substanzen. „Die von den Kanalstrahlen getroffene Glaswand leuchtet rothgelb, wie da, wo an Glas unter dem Einfluss äusserer Ableitungen sekundäre Kathodenstrahlen auftreten. Mit der Zeit lässt das Leuchten nach. Durch Erwärmen kann auf kurze Zeit der Wand die Fähigkeit zu leuchten wieder gegeben werden.

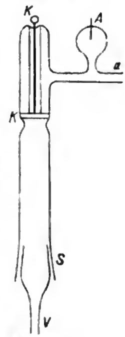


Fig. 349.

Chlornatrium, sowie andere Natriumsalze ($NaNO_3$, Na_2SO_4, NaBr, NaJ) leuchten rothgelb, in dem Licht tritt hell die D-Linie auf; das Leuchten wird allmählich schwächer, ohne dass indess eine irgendwie stärkere Färbung des Salzes — auch bei schönem klarem Steinsalz — auftritt. Arnold ist der Ansicht, dass, während unter dem Einfluss der Kathodenstrahlen wahrscheinlich das Chlor unter Bildung der gefärbten Subchloride entweicht, hier das Metall entweicht. Metallisches Natrium, das freilich von einer dünnen Oxydschicht bedeckt war, leuchtete hellgelb, aber nicht heller als Chlornatrium.

Lithiumsalze leuchten schwach roth, Kaliumsalze gelb, in Folge des stets vorhandenen Natriums, Strontiumsalze rosaweiss, Cadmiumsalze gelb, Scheelit blau, Schwefelzink grün, Chininsalze weiss, CaS weiss. Metallisches Quecksilber und dessen Salze leuchten nicht, ebensowenig Thalliumsalze, Natron, Naphtalin, Antrachinon. Von festen Lösungen leuchteten unter anderen $Na_2SO_4 + MnSO_4$, $ZnSO_4 + MnSO_4$ roth, $CaSO_4 + MnSO_4$ grün, $CaWO_4 + CuWO_4$ blau, $ZnSO_4 + CdSO_4$ grünlich, CW rothgelb, CaS + Bi weiss, $MgSO_4 + MnSO_4$ röthlich, $CaFl_2 + MnFl_2$ grünweiss.

Alle untersuchten Körper verloren unter dem Einfluss der Kanalstrahlen schnell die Lumineszenzfähigkeit; kamen durch Aufschütteln von Pulvern derselben neue Theile an die Oberfläche, so leuchteten sie von Neuem.

Das Verhalten der Kanalstrahlen unterscheidet sich also wesentlich von dem Verhalten der Kathodenstrahlen, indem bei diesen in vielen Fällen selbst bei einer Einwirkung von 10 bis 15 Minuten keine merkliche Schwächung des ausgesandten Lichtes, vor allem bei der Reihe der festen Lösungen zu beobachten war.

---

1) Zu beziehen vom Glasbläser C. Richter, Berlin, Thurmstr. 4.
2) W. Arnold, Wied. Ann. **61**, 325, 1897.
3) Von dem Glasbläser M. Stuhl in Berlin zu beziehen.

Bei den Natriumsalzen tritt der Unterschied zwischen Kathoden- und Kanalstrahlen besonders deutlich hervor. Setzte man unten an r eine Anode a_1 und verband A zuerst mit dem + Pole der Maschine, so erregten die an K austretenden Kanalstrahlen die Natriumsalze, die in dem oben erwähnten Glasnapf lagen, zum hellgelben Leuchten, das Glas blieb dagegen dunkel, verband man a_1 mit dem + Pole, so erregten die auftretenden Kathodenstrahlen die Natriumsalze nur schwach, das metallische Natrium gar nicht, dagegen das Glas zum hellen Leuchten."

Photographische Wirkungen übten die Kanalstrahlen auf gut eingewickelte, in die Röhre eingebrachte empfindliche Platten nicht aus.[1])

In das Rohr eingebrachte elektrisirte Körper, welche von den Kanalstrahlen getroffen wurden, wurden sofort entladen, gleichgültig welches der Sinn der Elektrisirung war.

Ein in den Weg der Strahlen eingebrachtes Thermometer stieg in kurzer Zeit um mehrere Grade.

D. Eilhard Wiedemanns Entladungsstrahlen.

An die Arbeiten Lenards schlossen sich diejenigen von E. Wiedemann an, welche zuerst gelegentlich der II. Hauptversammlung der „Deutschen elektrochemischen Gesellschaft" am 8. Juni 1895 in Frankfurt a. M. bekannt gegeben wurden.[2]) Derselbe fand eine neue Art Strahlen, welche die Eigenthümlichkeit haben, Körpern, die in normalem Zustande beim Erwärmen zu phosphoresziren vermögen, aber diese Fähigkeit durch längeres Erhitzen auf höhere Temperatur verloren haben, diese Fähigkeit wieder zu ertheilen. Sie treten sowohl im gewöhnlichen elektrischen Funken, wie auch in Vakuumröhren auf und unterscheiden sich von ultravioletten Strahlen dadurch, dass sie Flussspath nicht zu durchsetzen vermögen und von Kathodenstrahlen dadurch, dass sie nicht vom Magneten abgelenkt werden. E. Wiedemann gab ihnen den Namen „Entladungsstrahlen".

Er fügt noch folgende Bemerkungen hinzu:

„Da die Energie der Entladungsstrahlen jedenfalls ziemlich gross ist, so muss ihnen bei der Berechnung des Nutzeffektes von Entladungsröhren zu Beleuchtungszwecken Rechnung getragen werden. . . .

Nach ihrem Verhalten gegenüber den oben genannten Substanzen, die von den Kathodenstrahlen intensiv erregt werden, wird man die Entladungsstrahlen als den Kathodenstrahlen verwandt anzusehen haben. . . .

Die Beobachtungen über die Entladungsstrahlen haben noch das allgemeine Interesse, als sie uns zeigen, dass selbst in oft und eingehend untersuchten Erscheinungen noch neue Energieformen und zwar in gar nicht kleinen

1) Sie können auch die Glaswand nicht durchdringen. (Precht, Wied. Ann. **61**, 339, 1897.)

2) Zeitschr. f. Elektrochemie I, 159, 1895.

Mengen enthalten sind, die sich der Beobachtung entziehen, so lange kein passendes Reagens für dieselben gefunden ist."[1])

Der Mangel der magnetischen Einwirkung beweist jedenfalls, dass es sich hier nicht um Kathodenstrahlen im gewöhnlichen Sinne handeln kann, und wenn gewöhnliche Kathodenstrahlen auf phosphoreszirende Körper ähnliche Wirkungen hervorzubringen vermögen, so erklärt sich dies vielleicht dadurch, dass da, wo sie auftreffen, eine dünne Schicht Entladungsstrahlen entsteht.

Nach Untersuchungen von Hoffmann[2]) gehen die Entladungsstrahlen von allen Stellen der Bahn eines Funkens (sowie auch der Entladung in Vakuumröhren) in anscheinend geradliniger Richtung aus, vermögen aber keinen festen Körper zu durchdringen. Eine Reflexion liess sich nicht nachweisen. In Wasserstoff und Stickstoff bilden sie sich besonders leicht, von Sauerstoff und Kohlensäure werden sie dagegen in hohem Maasse absorbirt. Durch den Magneten werden sie nicht abgelenkt. „Bei tieferen Drucken erregte Entladungsstrahlen gewinnen allmählich die Fähigkeit, die Körper gemäss der Dichte zu durchdringen."

Da die Entladungsstrahlen von allen Stellen der Lichtsäule ausgehen, verursachen sie wahrscheinlich zum Theil die intensive Fluoreszenz der fluoreszirenden Geissler'schen Röhren.

Nach Arnold[3]) zeigten unter dem Einfluss von Entladungsstrahlen sehr schöne Thermolumineszenz die festen Lösungen: $CaSO_4 + MnSO_4$, $CdSO_4 + NiSO_4$, $ZnSO_4 + MnSO_4$, $CaS + CuS$, $MgSO_4 + MnSO_4$ und $Na_2SO_4 + MnSO_4$. Dass dieselbe wirklich von Entladungsstrahlen herrührte, liess sich dadurch beweisen, dass sie nicht auftrat, wenn die Präparate mit einer Flussspathplatte bedeckt wurden.

E. Röntgens X-Strahlen.

In Fortsetzung der Lenard'schen (und E. Wiedemann'schen) Versuche fand Röntgen[4]) eine neue Art Strahlen, welche zwar den Lenard'schen in mancher Hinsicht gleichen, indessen sicher nicht die Fortsetzung der Kathodenstrahlen in der Vakuumröhre sind, sondern von denjenigen Stellen der Rohrwandung oder anderer fester (oder flüssiger, nicht gasförmiger[5]) Körper ausgehen, wo letztere auftreffen und wie die E. Wiedemann'schen Entladungsstrahlen gegen magnetische Kräfte sich ganz indifferent verhalten. Er gab denselben den Namen X-Strahlen.

---

1) Durch die bald darauf folgende Entdeckung der Röntgen-Strahlen fand diese Bemerkung weitere Bestätigung.

2) Hoffmann, Wied. Ann. **60**, 269, 1897.

3) W. Arnold, Wied. Ann. **61**, 328, 1897.

4) Röntgen, Sitzb. d. Würzb. phys.-med. Ges. 1895 u. 1896.

5) Nach Roiti, Beibl. **20**, 1013, 1896 senden von Kathodenstrahlen getroffene Gase keine Röntgenstrahlen aus, ebensowenig Schwefelsäure, welche in SO_2 und O zersetzt wird, wohl aber Quecksilber.

Von beiden Strahlungsarten unterscheiden sie sich ferner sehr wesentlich dadurch, dass sie dicke Lagen von Papier, Holzblöcke, Wasser, Schwefelkohlenstoff und sogar Metalle wie Stanniol, Kupfer, Zink, Eisen u. s. w. theilweise mit grösster Leichtigkeit durchdringen. Sie sind deshalb im Stande, wie Fig. 350 andeutet, Platincyanbaryum, welches auf die Rückseite, d. h. die von der Vakuumröhre abgewendete Seite eines Kartons, aufgetragen ist, zum Leuchten zu bringen.

Wie bei den Lenard-Strahlen ist vorherrschend die Dichte der von den Strahlen durchsetzten Körper

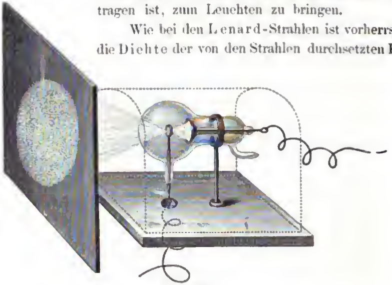


Fig. 350.

für die Absorption maassgebend, doch nicht allein. Die Strahlen werden weder gebrochen noch (regelmässig) reflektirt, wenigstens nicht in merklichem Maasse.

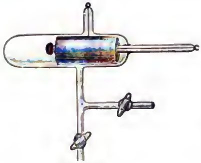


Fig. 351.

Scheinbar homogene Körper, wie die Luft, verhalten sich gegen die Strahlen ebenso wie gegenüber den Lenard-Strahlen als trübe Körper und veranlassen eine diffuse Zerstreuung.[1]) Mit X-Strahlen bestrahlte Luft sendet also selbst wieder X-Strahlen aus.[2]) Ob eine Zerstreuung im Vakuum völlig fehlt, wurde übrigens noch nicht festgestellt.

Besonders intensiv treten die X-Strahlen auf, wenn Kathodenstrahlen auf Platin auftreffen, gleichgültig, ob das Platin isolirt, abgeleitet oder mit der Anode verbunden ist.[3]) Sie verbreiten sich von der getroffenen Stelle aus nach allen Richtungen[4]) in anscheinend völlig gleicher Stärke.

1) Vgl. auch O. Müller, Wied. Ann. 58, 771, 1896.

2) Röntgen, Berl. Ber. 26, 576, 1897.

3) Nach Kundsen, Beibl. 20, 1015, 1896 ist es für die Erzeugung der Röntgenstrahlen von Vortheil, wenn die von den Kathodenstrahlen getroffene Fläche das Potential der Anode hat.

4) Nach Des Coudres (vgl. S. 499) entstehen Röntgenstrahlen auch beim Auftreffen von Lenardstrahlen auf Platin oder Kupfer in Luft von gewöhnlicher Dichte.

Während die älteste Form der Röntgenröhre, welche in Fig. 351 dargestellt ist, noch viel Aehnlichkeit mit einer Lenardröhre hatte, ist aus diesem Grunde in den neueren, wie solche die Figuren 352, 353 und 354 zeigen,[1]) eine sog. Antikathode aus Platin angebracht, auf welche die Kathodenstrahlen durch geeignete konkave Gestaltung der Kathode (eventuell unter Beiziehung eines Magneten) konzentrirt werden können und die gleichzeitig als Anode dient, oder wenigstens zweckmässig gleichfalls mit dem positiven Pol verbunden wird. Man nennt solche Röhren „Fokusröhren".[2])

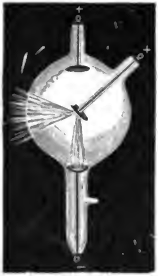


Fig. 352.



Fig. 353.



Fig. 354.

Die Konstruktion, Fig. 353, mit zwei Kathoden und zwei Platinblechen ist für Anwendung von Teslastrom bestimmt.

Zur Erzeugung des letzteren (vgl. S. 437) kann der in Fig. 355 dargestellte[3]) kleine Transformator mit Luftisolation von Elster und Geitel dienen.[4])

---

1) Die Richtung der von dem Platinblech ausgehenden Strahlen ist in den Figuren nicht korrekt gezeichnet, da dieselben von dem von den Kathodenstrahlen getroffenen Punkte nach allen Richtungen ausgehen.

2) In der dargestellten Form werden sie von Dr. H. Geisslers Nachf. (Franz Müller) in Bonn geliefert. Vgl. auch W. König, Elektrotechn. Zeitschr. **17**, 301, 1896 und Beibl. **20**, 573, 1896. Vollständige für praktische Zwecke eingerichtete Röntgenapparate sind z. B. von Siemens und Halske und von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft in Berlin, von Reiniger, Gebbert und Schall (elektrotechnische Fabrik) in Erlangen, von Max Kohl (Werkstatt für Präzisionsmechanik) in Chemnitz i. S. und F. Ernecke (mechanische Werkstätten) in Berlin, Königgrätzerstr. 112, zu beziehen.

3) Zu beziehen von Louis Müller-Unkel (glastechn. Institut) in Braunschweig.

4) Auch Teslaströme können polare Unterschiede zeigen, insofern hauptsächlich nur der erste Stromstoss in Betracht kommt, da der starken Dämpfung wegen die folgenden Schwingungen zu geringe Amplituden haben. Unter solchen Umständen können auch einpolige Röntgenröhren Verwendung finden, wie dies Pflüger (Wied. Ann. **60**, 768, 1897) nachgewiesen hat.

Für Röhren, welche keine besonders hohe Spannung erfordern, genügt zur Speisung ein kleiner von Moore konstruirter, von Müller-Unckel zu beziehender Extrastromapparat Fig. 356, dessen Funktion im Prinzip ganz analog den bekannten medizinischen Extrastromapparaten ist, sich aber von diesen wesentlich dadurch unterscheidet, dass der Unterbrecher in einer hoch evakuirten Glasröhre angebracht ist, wodurch die Stromunterbrechungen viel schroffer gemacht werden, so dass die elektromotorische Kraft des Extrastroms bedeutend erhöht erscheint. Auch die Zahl Unterbrechungen pro Sekunde, welche von Moore bis 6000 getrieben wurde, ist sehr viel grösser als bei gewöhnlichen Induktionsapparaten.[1])

Sehr gute Röntgen-Bilder erhielt Langer[2]), indem er als Antikathoden mit Uransalzen überzogene Silberplatten verwendete.

Berliner[3]) schiebt, um die Röntgenstrahlen stetiger zu machen, ähnlich wie Porter und Fomm, einen leitenden Ring (Holz mit Glycerin befeuchtet) über das die Kathode enthaltende Rohr.

Siemens und Halske[4]) versehen die Röntgenröhren mit einem Phosphor enthaltenden Ansatzrohr, wodurch der Sauerstoff absorbirt wird. Durch Erwärmen der Kugel kann der richtige Druck wiederhergestellt werden. Zehnder verwendet zu gleichem Zwecke statt Phosphor Lindenkohle.



Fig. 355.

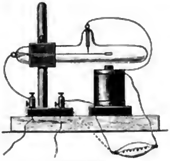


Fig. 356.

Voller und Walter[5]) weisen ferner darauf hin, dass, falls die Röhre in Folge Absorption des Gasinhaltes nicht mehr funktionirt, äussere Erhitzung in sehr viel höherem Grade wirksam ist, wenn sie in der Umgebung der Kathode geschieht, als wenn man die Anodenseite oder andere Theile der Röhre erhitzt.

1) In der Figur ist an denselben nicht eine Röntgenröhre, sondern eine einpolige Glühlampe (vgl. S. 79) angeschlossen.

2) Langer, Beibl. **21**, 606, 1897.

3) Berliner, Beibl. **21**, 447, 1897.

4) Siemens und Halske, Beibl. **21**, 363, 1897.

5) Voller und Walter, Wied. Ann. **61**, 88, 1897.

Strahlen, welche von weichen (wenig evakuirten) Röhren ausgehen, werden so stark absorbirt, dass selbst die Weichtheile einer Hand schwarz erscheinen, umgekehrt werden Strahlen einer sehr harten (sehr hoch evakuirten) Röhre selbst von den Knochen nur wenig absorbirt und können sogar durch 4 cm dicke Eisenplatten durchgehen.[1])

Mittelst solcher wenig absorbirbarer Strahlen gelang es Röntgen Patronen und Kugeln in einem Gewehrlauf zu photographiren. Der Gewehrlauf



Fig. 357.



Fig. 358.

erscheint dabei auf der Photographie wie eine Glasröhre. Sehr deutlich tritt der Zünder der Patrone hervor. (Fig. 357 und 358.)[2])

Aehnliche Beobachtungen machte Swinton.[3]) Die bei verhältnissmässig hohen Drucken erzeugten X-Strahlen haben kaum die Fähigkeit, die Rückseite

1) Röntgen, Berl. Akad. Ber. **26**, 576, 1897.

2) Nach einer von Röntgen selbst hergestellten Photographie. Die Fig. 357 stellt den Doppellauf bei gewöhnlicher Beleuchtung etwas verkleinert dar, die Fig. 358 das Schattenbild mit Röntgenstrahlen. Die Originalphotographie ist natürlich wesentlich deutlicher.

3) A. A. C. Swinton, Proc. Roy. Soc. **61**, 222, 1897.

des Phosphoreszenzschirms zu durchdringen. Bei etwas höherem Vakuum kann ein Schatten der Hand erzeugt werden. Bei noch höherem Vakuum wird das Fleisch durchsichtig, die Knochen dagegen treten deutlich hervor und bei den höchsten Verdünnungen verschwinden auch letztere, so dass man nur noch eine leichte Andeutung des Handschattens auf dem Phosphoreszenzschirm erblickt.

Auch durch Vergrösserung der Potentialdifferenz der Elektrizitätsquelle, Erschwerung des Durchgangs der Elektrizität durch Wirkung eines Magnetfeldes oder Verminderung des Abstandes der Elektroden oder Wahl einer sehr kleinen Kathode[1]) kann eine ähnliche Erhöhung des Durchdringungsvermögens der X-Strahlen hervorgerufen werden.

Nach Röntgen sind alle diese Umstände nur insofern von Einfluss, als sie die Entladungsform ändern. Bei geeigneter Entladungsform können selbst bei hohen Drucken X-Strahlen entstehen.

Mit der Substanz der Antikathode ändert sich die Quantität der X-Strahlen, nicht aber deren Qualität. Gleiches gilt (nach Röntgen) bezüglich der Aenderung der Stromstärke.

Die tieferen Schichten eines Körpers sind nach Röntgen (l. c.) für die X-Strahlen durchlässiger als die zuerst getroffenen (oberflächlichen), so dass anzunehmen ist, die von einem Entladungsapparat ausgehende Strahlung bestehe aus einem Gemisch von Strahlen verschiedener Absorbirbarkeit und Intensität.

Precht[2]) fand einen sehr sonderbaren Einfluss der Zeit auf das Hervortreten der Fluoreszenz. Die Versuche wurden mit Schirmen von Baryum- und Calciumplatincyanür angestellt. „Hält man bei völlig verhüllter Röhre die Hand vor den Schirm und bestrahlt, so erscheint zuerst ein schwarzer Schatten der ganzen Hand, allmählich werden die Fleischtheile heller und nun treten auch die Knochen hervor. Der ganze dann bis zum Maximum gesteigerte Prozess verläuft oft in einer, oft in drei bis fünf Sekunden. Die Wirkung ist deutlicher, wenn man zwischen Hand und Schirm ein Buch einschaltet (etwa von der Dicke eines Annalenbandes). Sie rührt nicht her von Veränderungen der Röhre während des Stromdurchgangs, da sie bei Einschalten von Buch und Hand bei längerer Thätigkeit der Röhre ebenfalls beobachtet wird. Sie ist nicht subjektiv, denn sie zeigt sich auch, wenn ein Beobachter die geschlossenen Augen erst kurz nach Einschalten von Buch und Hand auf ein von einem andern Beobachter gegebenes Zeichen öffnet. Die Wirkung tritt nur bei beträchtlicher Dicke der eingeschalteten Schicht hervor, wird z. B. bei 2 mm

1) Vgl. auch Wood, Phys. Review V, Nr. 25, 1897. Derselbe erhielt intensive Strahlen bei Anwendung von zwei Platinkügelchen von 1,5 mm Durchmesser in höchstens 5 mm Entfernung, bei Vorschaltung einer geeigneten Funkenstrecke. Es bildete sich ein bläulicher Lichtbogen und da wo derselbe an der Anode aufsass, war der Ausgangspunkt der X-Strahlen. Die Anode wurde stark korrodirt und auf der Kathode schlug sich Platin nieder.

2) Precht, Untersuchungen über Kathodenstrahlen, Habilitationsschrift, Heidelberg 1897, S. 24.

dicken Schichten aus Glas oder Aluminium nicht bemerkt. Sie ist keineswegs bei allen Röhren zu beobachten (unter sechs geprüften waren z. B. nur zwei wirksam), zeigt sich leichter bei schwachen als bei starken Strömen und ist sogar abhängig von der Beschaffenheit des Induktionsapparates. Eine Röhre, die die Wirkung sehr deutlich bei Anwendung eines Siemens'schen Induktors mit Deprezunterbrecher zeigte (Primärstrom 5 Ampère, 65 Volt, Funkenlänge 6 cm), versagte bei einem Keiser und Schmidt'schen Induktionsapparat und Wagnerschem Hammer (Funkenlänge 4 cm). Welcher Art aber die Wirkung auch sein mag, das eine lässt sich mit Bestimmtheit behaupten, dass sie nicht von einer Wellenbewegung herrühren kann, denn die Durchlässigkeit eines Körpers für Wellen kann, wo chemische Veränderungen ausgeschlossen sind, nicht mit der Zeit wachsen."

Nach Turnbull[1]) soll ein fluoreszirender Schirm auf die Entladungen in der Vakuumröhre zurückwirken, nämlich dieselben hindern. Es dürfte diese (und die vorige) Erscheinung damit zusammenhängen, dass der Schirm, worauf auch Neesen[2]) aufmerksam machte, starke Elektrisirung annehmen kann.

Nach Rutherford[3]) ist die Absorption der Röntgenstrahlen durch Luft, wenn auch gering, immerhin so beträchtlich, dass falls die Sonne Röntgenstrahlen aussenden würde, nur die Menge 10^{-260} von dieser Strahlung zur Erdoberfläche gelangen könnte.

Die Absorption verschiedener Gase geht parallel zu dem Leitungsvermögen, das sie unter Einfluss der Röntgenstrahlen annehmen.

Voller und Walter[4]) machen darauf aufmerksam, dass die Erwärmung einer Vakuumröhre sehr viel geringer ausfällt (bei gleicher Stromzufuhr), wenn dieselbe kräftige Röntgenstrahlen aussendet, so dass anzunehmen ist, dass in den Röntgenstrahlen ein erheblicher Bruchtheil der zugeführten Energie enthalten ist.

S. P. Thompson[5]) unterscheidet von den gewöhnlichen Kathodenstrahlen, welche er Orthokathodenstrahlen nennt, die von E. Wiedemann und Ebert untersuchten, beim Auftreffen derselben auf Metalle u. s. w. entstehenden Kathodenstrahlen, welche nicht die Fähigkeit haben Röntgenstrahlen zu erzeugen, als Parakathodenstrahlen.

Lenard[6]) betrachtet die Röntgenstrahlen als Kathodenstrahlen von der magnetischen Ablenkbarkeit Null[7]), weil ein Kathodenstrahl um so weniger absorbirt und zerstreut wird, je weniger er durch den Magneten abgelenkt wird, so dass nicht ablenkbare Kathoden- (Lenard-) Strahlen sich wie Röntgenstrahlen verhalten müssten.

---

1) Turnbull, Beibl. **21**, 786, 1897.
2) Neesen, Naturforschervers. Frankfurt 1896.
3) Rutherford, Beibl. **21**, 787, 1897.
4) Voller und Walter, Wied. Ann. **61**, 88, 1897.
5) S. P. Thompson, Proc. Roy. Soc. **61**, 481, 1897.
6) Lenard, Vortr. Ges. Deutscher Naturf. Frankfurt 1897, 69.
7) Voller und Walter (l. c.) konnten eine magnetische Ablenkung selbst mit sehr empfindlichen Hilfsmitteln nicht konstatiren.

G. de Metz beobachtete übrigens auch bei Röntgenstrahlen eine Einwirkung des Magneten, wenn dieselben in einen luftverdünnten Raume von 0,5 — 0,008 mm Druck geleitet wurden. Der Sinn der Ablenkung war derselbe wie bei Kathodenstrahlen. (Siehe Beibl. 21, 1015, 1897.)

Bezüglich der Entstehung der Röntgenstrahlen habe ich früher[1]) die Vermuthung geäussert, dieselbe möchte bedingt sein durch die enorm raschen Pulsationen der Kathodenstrahlen-Entladung. Wir haben oben S. 328 angenommen, dass da, wo die Kathodenstrahlen auftreffen, billionenmal pro Sekunde die Ladung der betreffenden Stelle sich ändert, so dass nothwendig Erschütterungen des Aethers auftreten müssen, die sich in Form einer Strahlung weiter fortpflanzen. Es würde am nächsten liegen, hier die Entstehung longitudinaler Wellen anzunehmen, wie es auch von Röntgen selbst, allerdings in anderem Sinne,[2]) ausgesprochen wurde. Indess sind longitudinale elektrische Wellen nach Maxwells Theorie unmöglich,[3]) und nichts weist darauf hin, abgesehen etwa von den oben angeführten unsicheren Bestimmungen der Wellenlänge, dass wir es in den Röntgenstrahlen mit einer longitudinalen Bewegung zu thun haben, wenn sich auch allerdings das Gegentheil ebensowenig beweisen lässt.

Da nach den verschiedenen Dispersionstheorien für äusserst kleine Wellenlängen der Brechungsexponent = 1 werden muss, scheint es zur Zeit am meisten gerechtfertigt, die Röntgenstrahlen für gewöhnliche elektrische Strahlen äusserst kleiner Wellenlänge zu halten.

Damit würde auch übereinstimmen, dass im Anschluss an die Röntgen'sche Entdeckung bald noch weitere Strahlen entdeckt wurden, die in ihrem Verhalten, sowie auch hinsichtlich ihrer Entstehung ähnlich wie die oben erwähnten Hertz'schen hyperultravioletten Strahlen und E. Wiedemanns Entladungsstrahlen gewissermaassen Uebergangsformen zwischen den Röntgenstrahlen und den gewöhnlichen Lichtstrahlen darstellen, die Becquerel'schen Uranstrahlen, Sagnacs Metallstrahlen und Muraokas Johanniskäferstrahlen.

Versuche, die Wellenlänge der Röntgenstrahlen durch Beugungs- und Interferenzversuche zu bestimmen, führten indess keineswegs zu übereinstimmenden Ergebnissen. So wurde nach einer Zusammenstellung von Precht gefunden von:

Beobachter	Wellenlänge	Methode
Kümmell	$3300 \cdot 10^{-6}$ mm	Beugung durch Spalte
Sagnac	$40 \cdot 10^{-6}$ „	„ „ Drahtgitter
Forum	$14 \cdot 10^{-6}$ „	„ „ Spalte
Voller	$200 \cdot 10^{-6}$ „	„ „ „
Precht	$16 \cdot 10^{-6}$ „	Lamellare Beugung
„	$360 \cdot 10^{-6}$ „	Interferenz durch
„	$830 \cdot 10^{-6}$ „	streifende Reflexion.

1) Zeitschr. f. Elektrochemie I, 484, 184, 1896.

2) Derselbe dachte augenscheinlich im Sinne der älteren Undulationstheorie an mechanische, nicht elektrische Wellen.

3) Vgl. übrigens Lord Kelvin, The Elektrician 36, 593, 1896.

Nach Ercolini[1]) sind diese scheinbaren Interferenz- und Beugungserscheinungen in Wirklichkeit nur Schattenbildungen, bedingt durch verschiedene Ausgangspunkte der Strahlen),[2] so dass daraus kein Schluss auf die Wellenlänge gezogen werden kann.

Die Stellen, von welchen Röntgenstrahlen ausgehen, lassen sich übrigens genau ermitteln mittelst eines Diaphragmas aus Blei mit feiner Oeffnung, welches auf einem Schirm wie eine gewöhnliche Camera obscura (Lochcamera) ein Bild dieser Stellen entwirft. Mehrere derartige Bilder sind wiedergegeben in einer diesbezüglichen Arbeit von P. Czermak.[3])

In Uebereinstimmung mit Ercolinis Ansicht verschwinden die scheinbaren Beugungs- und Interferenzerscheinungen nach den von Voller und Walter (l. c.) angestellten Versuchen um so mehr, je schmäler der Spalt genommen wird, während, falls es sich um wahre Interferenzerscheinungen handelte, gerade das Gegentheil der Fall sein müsste.[4])

In gleicher Weise erklärt sich wohl durch gleichzeitige Entstehung von Röntgenstrahlen an verschiedenen Ausgangspunkten in der Röhre eine von Mauritius[5]) beobachtete eigenthümliche Störung zweier durch Röntgenstrahlen erzeugter Schatten. Der Schatten eines Drahtes erschien nämlich doppelt da, wo er sich mit dem Schatten einer Metallscheibe deckte.

Durch sehr sorgfältige Versuche konnten Voller und Walter[6]) keine Brechung der Röntgenstrahlen nachweisen.[7])

Sie schliessen aus diesen Versuchen, in Verbindung mit der Helmholtzschen Dispersionstheorie, dass, falls die Röntgenstrahlen eine Art von Lichtstrahlen sind, ihre Wellenlänge nicht über 0,000001 mm, also nicht über den 600. Theil der Wellenlänge des gelben Natriumlichtes betragen kann.

Bezüglich der diffusen Reflexion der Röntgenstrahlen glauben sie eine gewisse Beziehung zum Atomgewicht gefunden zu haben. Doch konnte dieselbe noch nicht völlig klargestellt werden.

Von weiteren (von Precht[8]) erhaltenen) Resultaten seien noch erwähnt: „Die Röntgenstrahlen breiten sich nahezu geradlinig aus, sie wirken konden-

1) Ercolini, Nuov. Cim. (4) **5**, 297, 1897.

2) Aehnlich den Bildern, die bei einer gewöhnlichen Camera obscura ohne Linse (Lochcamera) entstehen.

3) P. Czermak, Wied. Ann. **60**, 760, 1897.

4) Ueber die scheinbare Beugung der X-Strahlen siehe auch Wood, Science (2) 5, 585, 1897. Derselbe beobachtete dunkle Linien zu beiden Seiten des Bildes eines Schlitzes.

5) Mauritius, Wied. Ann. **59**, 346, 1896. Vgl. auch Sagnac, Beibl. **21**, 987, 1897.

6) Voller und Walter, Wied. Ann. **61**, 95, 806, 1897.

7) A. Winkelmann und Straubel, Wied. Ann. **59**, 324, 1896, hatten bereits früher gefunden, dass der Brechungsexponent des Kupfers höchstens um $\pm$ 0,001 von 1 verschieden ist, und auch derjenige des Diamanten und des Aluminiums um höchstens $\pm$ 0,0002.

8) Precht, Wied. Ann. **61**, 350, 1897.

sirend auf einen Wasserdampfstrahl[1]) und ändern den elektrischen Leitungswiderstand von Selenzellen um 32 %[2]). Die von Goldstein gefundene Zersetzung trockener Salze durch die Strahlen der zweiten Kathodenschicht kann man mit Röntgenstrahlen nicht erhalten. Das verschiedene Verhalten der Lenard'schen und Röntgen'schen Strahlen gegen Pentadecylparatolylketon zeigt die verschiedene Qualität beider Strahlungen."

Allgemein bekannt sind die Fluoreszenz erregenden und chemischen (photographischen) Wirkungen der Röntgenstrahlen. Ueber diese hat sich der praktischen Verwerthung wegen bereits eine so umfangreiche Litteratur angehäuft, dass es nicht möglich ist, darüber zu berichten. Man findet dieselbe kurz und dennoch sehr vollständig und geordnet zusammengestellt in Wiedemanns Beiblättern zu den Annalen der Physik.[3])

Nach Arnold[4]) leuchten unter dem Einfluss von Röntgenstrahlen sehr schön[5]): Baryum-, Kalium- und Magnesiumplatincyanür, Uranylfluorammonium und andere Urandoppelsalze, Scheelit, schwächer reines Calciumwolframat, ferner Manganwolframat, gar nicht die Wolframate von Bi, Na, K, Ba, Sr, Zn.

Ebenso geben andere Präparate, welche durch Kathodenstrahlen sehr gut erregt werden, mit Röntgenstrahlen keine Wirkung.

Bezüglich der entladenden Wirkungen, welche Röntgenstrahlen auf elektrische Körper ausüben, wurde bereits oben (S. 213) hervorgehoben, dass sie auf einer Veränderung der Luft beruhen, welche mehr oder minder lange andauert, während die Wirkung ultravioletter Strahlen nur da stattfindet, wo dieselben auftreffen.

Nach E. Villari[6]) verhält sich Luft, welche von Röntgenstrahlen durchstrahlt wurde (Xata-Luft), wie wenn sie von positiven und negativen Ionen erfüllt wäre. Durch einen positiv elektrischen Draht kann man die negativen Ionen herausziehen (ähnlich wie Eisenfeilspäne aus Staub mittelst eines Magneten). Die Luft hat dann die Fähigkeit verloren ein positiv geladenes Elektroskop zu entladen, wohl aber besitzt sie noch ein Leitungsvermögen für negative Elektrizität. Werden umgekehrt durch einen negativ geladenen Draht die positiven Ionen entfernt, so entladet sie wohl ein Elektroskop mit positiver, nicht aber ein solches mit negativer Ladung. Werden durch eine positive und eine nega-

1) Vgl. auch Richarz, Mitth. d. Nat.-Ver. f. Neuvorpommern und Rügen, 1896.

2) Vgl. auch Haga, Nature **54**, 109, 1896. Diffuses Tageslicht erzeugt eine Widerstandsabnahme bis zu 65 Prozent.

3) Eine besondere Zusammenstellung giebt Murani, Luce e raggi Röntgen, Milano, Hoepli, 1898, S. 392. Siehe ferner Eders Jahrb. **11**, 87, 1897 und die Zeitschrift: „Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgen-Strahlen", herausgegeben von Dr. Deycke und Dr. Albers-Schönberg, Hamburg, Gräfe & Sillern, 1897.

4) W. Arnold, Wied. Ann. **61**, 321, 1897.

5) Dieselben leuchten auch unter dem Einfluss von Kathodenstrahlen.

6) E. Villari, Renv. Acc. Lincei (5) **6**, 1, 343, 1897. Siehe auch Villari, Beibl. **21**, 789, 1897. Den Flammengasen kann ebenso ihre Leitungsfähigkeit genommen werden, z. B. indem man sie durch eine Ozonröhre gehen lässt.

tive Elektrode beide Arten Ionen entfernt, so verliert sie ihr Leitungsvermögen vollständig.

Nach Lord Kelvin, J. C. Beattie und M. Smoluchowski[1]) wird Luft, welche von Röntgenstrahlen getroffen wird, stets negativ elektrisch. Ursprünglich positiv geladene Luft verliert ihre Ladung und wird ebenfalls negativ.[2])

Aus der Beziehung zwischen der Geschwindigkeit des an einem elektrisirten Stabe vorbeiströmenden Luftstroms und der Abnahme der Ladung des Drahtes berechnet derselbe die Geschwindigkeit der Ionen zu 1 cm/sec. für einen Gradienten von 1 Volt/1 cm. Die Grösse der Ladung findet sich pro Kubikcentimeter = 10^{-4} elektrostatische Einheiten (= $3{,}3 \cdot 10^{-14}$ Coulomb). In CH_3J dagegen = $20 \cdot 10^{-4}$.

F. H. Becquerels Uranstrahlen.

Bereits Ch. Henry und Niewenglowski[3]) beobachteten an phosphoreszirendem Schwefelzink das Auftreten von Strahlen, welche undurchsichtige Körper durchdringen konnten. Nach Becquerel[4]) zeigt sich diese Erscheinung hauptsächlich bei Uransalzen. Es ist dabei gar nicht nöthig, die Uransalze vorher zu belichten.

Diese „Uranstrahlen" vermögen wie Lenard- und Röntgenstrahlen elektrisirte Körper zu entladen, gleichgültig, ob diese positiv oder negativ elektrisch sind.

Sie werden (im Gegensatz zu Röntgenstrahlen) gebrochen und reflektirt wie Lichtstrahlen. Aluminium und Kupfer sind gut, Platin ist verhältnissmässig wenig durchlässig.

Bei einem Versuche zeigte sich, nachdem das Uransalz 11 Tage im Dunkeln gelegen hatte, eine schwache Abnahme der Strahlung. Dagegen zeigte sich in einem andern Falle im Dunkeln auskrystallisirtes Urannitrat ebenso wirksam wie vorher belichtetes.

Uransalze, welche monatelang sorgfältig vor Licht geschützt waren, wirkten auf photographische Platten ebenso stark wie frisch belichtete.[5])

Die entladende Wirkung von Uranmetall war dreimal so gross als die von Urankaliumsulfat.[6])

---

1) Lord Kelvin, J. C. Beattie und M. Smoluchowski, Nature **55**, 199, 1896.

2) Ueber die Elektrisirung von Gas, das Röntgenstrahlen ausgesetzt ist, siehe auch Rutherford, Beibl. **21**, 787, 1897.

3) Ch. Henry und Niewenglowski, C. R. **122**, 312, 384, 1896.

4) Becquerel, C. R. **122**, 501, 559, 689, 762, 1896.

5) Elster und Geitel, Beibl. **21**, 455, 1897, fanden die Angaben Becquerels bezüglich der Uranstrahlen durchweg bestätigt. Monatelanges Aufbewahren des Salzes unter Lichtabschluss verminderte die Strahlungsintensität nicht merklich. Glühen des Salzes schwächte die Wirkung, zerstörte sie aber nicht. Sonnenlicht war ohne Einfluss.

6) H. Becquerel, C. R. **123**, 855, 1896.

Arnold[1]) fand in Uebereinstimmung mit anderen Beobachtern, dass auch Uranoxydstrontium, Zinksulfid auf nassem Wege bereitet, Schwefelcalcium mit Kupfersulfid, Schwefelbaryum, Calciumwolframat mit Kupferwolframat und Flussspath die Eigenschaft haben durch Papier, Glas und Gelatine hindurch photographisch zu wirken. Auch ein Kohlenwasserstoff „Reten" sendet Becquerelstrahlen aus, die ihm nahe verwandten Substanzen Anthracen, Anthrachinon, Phenantren dagegen nicht. Ebensowenig zahlreiche Stoffe, die durch Kathodenstrahlen leicht zum Lumineszirен gebracht werden.[2])

Zum Studium des Einflusses von Uranstrahlen auf elektrisirte Körper bediente sich Henri Becquerel[3]) einer von Moissan hergestellten Scheibe von Uranmetall von 67 mm Durchmesser und 5 mm Dicke (sowie einer Kugel von 13,7 mm Durchmesser). Dieselbe entlud elektrisirte Körper aus beträchtlicher Entfernung sowohl bei geringen Ladungen von nur 1 Volt, wie auch bei grossen bis zu 300 Volt. Die nähere Untersuchung lehrte, dass die Strahlen nicht direkt auf den elektrisirten Körper wirken, sondern die von den Uranstrahlen durchsetzte Luft eine Art Leitungsvermögen annimmt, ähnlich wie die durch Röntgenstrahlen veränderte Luft. Durch Fortblasen oder Hinblasen der leitend gewordenen Luft konnte man deshalb den Entladungsvorgang stören oder fördern.

War das Uranmetall isolirt, so nahm es einen Theil der von dem geladenen Körper abströmenden Elektrizität selbst auf.

Wurde das Uranmetall geladen, so entlud es sich auch im Dunkeln in Folge der Wirkung seiner eigenen Strahlen auf die umgebende Luft nach und nach von selbst.

Ebenso wie H. Becquerel fanden Lord Kelvin, J. C. Beattie und M. S. de Smolan,[4]) dass die Schnelligkeit der Entladung einer metallischen Uranplatte mit der Spannung der Ladung wächst (von 5—2100 Volt), doch war die Menge der in der Zeiteinheit von einem durch die Uranstrahlen getroffenen elektrisirten Körper abgegebenen Elektrizität nicht einfach der Ladung dieses Körpers proportional. Die Wirkung trat auch noch ein, wenn auch schwächer, wenn das Uran in Zinnfolie gewickelt wurde und wenn ausserdem ein Aluminiumschirm in den Weg der Strahlen gebracht wurde.[5])

---

1) W. Arnold, Wied. Ann. **61**, 324, 1897.

2) Vielleicht treten „Metallstrahlen" wie bei Uran (und wie auf S. 490 besprochen, auch bei Alkalimetallen) auch bei Eisen- und Kobaltoxyd auf und veranlassen die von Zantedeschi (Racc. fis. chim. **3**, 349, 1848) beobachteten eigenthümlichen Erscheinungen, aus welchen er auf die Existenz einer „strahlenden Materie" schloss. (Zeichnungen mit einem dieser Oxyde auf einer Thonplatte kamen auf einer zweiten Platte zum Vorschein, wenn beide in einem Töpferofen erhitzt wurden und zwar vergrössert oder verzerrt, je nach dem Abstand und der gegenseitigen Stellung der Platten.)

3) H. Becquerel, C. R. **124**, 438, 1897.

4) Lord Kelvin, Beattie und de Smolan, Nature **55**, 447, 1897.

5) Vgl. auch Miethe, Beibl. **21**, 606, 1897. Elster und Geitel demonstrirten gelegentlich der Naturforscherversammlung in Braunschweig, dass selbst von dem in

Wurde die Luft zwischen zwei beliebigen polirten Metallplatten der Wirkung von Uranstrahlen ausgesetzt, so zeigten die Metallplatten eine Potentialdifferenz von gleicher Art, wie wenn man sie durch einen Tropfen Wasser verbunden hätte.

Die Elektrizitätszerstreuung ist unabhängig von der Temperatur und vom Auftreffen von Sonnenlicht.[1])

In Sauerstoff ist sie grösser als in Luft, in Wasserstoff kleiner. Bei höheren Drucken ist sie dem Druck proportional, bei niedrigen der Wurzel daraus.

Die Entladungspotentiale eines Stückes Uran waren bei nachfolgenden Drucken (in mm Hg gemessen) in Volt:

700	223	127	54	7	2	0,001 mm,
4000	2000	1100	700	420	400	2000 Volt.

Nach Maack wirken Uranstrahlen, nachdem sie Kolophonium durchsetzt haben, stärker auf photographische Platten ein, als wenn dies nicht der Fall ist.

Borgmann[2]) beobachtete, dass Uranstrahlen ähnlich wie Röntgenstrahlen eine Thermolumineszenz von $CaSO_4 + 5$ Proz. $MnSO_4$ hervorzurufen vermögen.

G. Muraokas filtrirte Johanniskäferstrahlen.

Dieselben finden sich unter den von Leuchtkäfern ausgesandten Lichtstrahlen und lassen sich von diesen trennen, indem man das Licht durch Karton oder Kupferblech hindurchgehen lässt, wobei die Lichtstrahlen natürlich zurückgehalten werden. Solche „filtrirte Johanniskäferstrahlen“ haben nach Muraoka[3]) ähnliche Eigenschaften wie die Röntgen'schen oder Becquerel'schen Strahlen.

„Topas, Kalkspath, Salpeter, Feldspath (3 mm dick), Gummi, Tuch, Seide, medizinische Kapseln (hatte den Zweck, nachher Flüssigkeiten zu untersuchen) sind mehr oder weniger durchlässig. Achat zeigte deutlich die darin enthaltenen Skelettkrystalle (Eisensilikat?). Eierschale ist undurchlässig. Aluminium und Kupfer scheinen je nach der Filtration ihre Durchlässigkeit zu ändern, in ähnlicher Weise wie die weichen und harten Stellen von Holz.

Stanniol eingewickelten Salz Strahlen ausgehen, welche die Luft ähnlich wie Röntgenstrahlen leitend zu machen vermögen, so dass, wenn die Luft darüber hinweg an ein geladenes Elektroskop geblasen wird, dieses seine Ladung verliert.

1) Lord Kelvin, J. C. Beattie und M. S. de Smolan. Nature **56**, 20, 1897.

2) Borgmann, C. R. **124**, 895, 1897.

3) Muraoka, Wied. Ann. **59**, 780, 1896. Nach J. Berkeley (Gardeners Chronik, 1872) vermag das Licht phosphoreszirender Pilze leichter durch Papier zu dringen als anderes Licht. W. G. Smith (ibid. 1875, S. 719) fand diese Beobachtung bestätigt. J. Henry legte am 7. Sept. 1896 der Pariser Akademie photographische Platten vor, auf welchen Johanniswürmchen durch für Licht undurchlässiges schwarzes Papier hindurch photographische Wirkungen hervorgebracht hatten.

Recht kurios war die Photographie von Quarz. In der Photographie einer senkrecht zur optischen Achse geschnittenen Platte, deren Seite sehr glatt cylindrisch abgeschliffen war, trat eine kaustische Kurve sehr deutlich auf. Es muss bei diesem Versuche die Mehrzahl der Käfer sich an eine bestimmte Stelle hinbegeben haben. Hiernach ist regelmässige Reflexion sicher vorhanden.

Kartonfiltration scheint Strahlen zu liefern, welche mittlere Eigenschaften haben wie Papierschichten- und Kupferfiltrationen . . . .“

„Versuche über die fluoreszirende Wirkung auf Baryum-Platin-Cyanür, über die Einwirkung auf Radiometer und dynamische Entladung der Elektrizität gaben negative Resultate.“

Die Strahlen werden nach Muraokas Auffassung durch Karton scheinbar verdichtet, wie magnetische Kraftlinien durch Eisen. Er schliesst dies aus folgendem Versuchsergebniss. Wurden auf eine photographische Trockenplatte Kartonscheiben mit kreisförmigem Ausschnitt gelegt, auf diese Kupfer-, Aluminium-, Zink- oder Messingplatten, das Ganze drei- bis viermal mit schwarzem Papier umwickelt, auf den Boden eines flachen Kistchens gelegt, etwa 300 Johanniskäfer hineingethan, die durch ein Hanfnetz am Wegfliegen verhindert wurden, und nun in einem Dunkelzimmer zwei Nächte sich selbst überlassen, so zeigten sich beim Entwickeln der Trockenplatten, nicht wie man erwarten könnte, die Ausschnittstellen der Kartonzwischenlagen geschwärzt, sondern diejenigen, wo der Karton die photographische Platte berührte, obschon Karton für sich allein die Wirkung (welche Muraoka als „Saugphänomen“ bezeichnet) nicht hervorbrachte. Liess man die Metallplatten weg, so war umgekehrt die Ausschnittstelle geschwärzt.

Refraktion, Interferenz und Polarisation konnten bei den Strahlen bisher nicht nachgewiesen werden, obschon sie wahrscheinlich vorhanden sind.

H. Sagnacs Metallstrahlen.

Sagnac[1]) liess Röntgenstrahlen auf verschiedene Metallplatten in schräger Richtung auffallen und fand, dass von der getroffenen Stelle der Platten senkrecht neue Strahlen, „Metallstrahlen“, ausgehen, welche auf eine photographische Platte einzuwirken vermögen, wenigstens wenn die Metallplatte aus Gold, Silber, Zink, Blei oder Zinn besteht. Bei Aluminium konnten solche Strahlen durch Röntgenstrahlen nicht erregt werden, wohl aber durch von einem andern Metall ausgehende Metallstrahlen. Die nähere Untersuchung ergab, dass schon eine

1) Sagnac. C. R. **125**, 230, 1897. Es sei auch erinnert an das, was auf S. 490 über die muthmassliche Entstehung von Metallstrahlen bei Erhitzung von Kalium und Natrium bemerkt wurde. Um solche Strahlen nachzuweisen, müsste man die den Metalldämpfen ausgesetzten Krystalle mit Schablonen aus einem für die Strahlen undurchlässigen Material bedecken. Der Verlauf der durch die Ausschnitte dringenden Strahlen würde sich dann bleibend durch das Auftreten gefärbter Streifen in der farblosen Krystallmasse markiren.

Metallschicht von nur wenigen Hundertsteln eines Millimeters Dicke ausreicht, die neue Art Strahlen zu erzeugen.

Im Gegensatz zu den Röntgenstrahlen gehen die Metallstrahlen nur schwierig durch schwarzes Papier und gar nicht durch ein Glimmerblatt von 0,1 mm Dicke. Sagnac vermuthet deshalb, dass es Strahlen sind, welche die Lücke zwischen ultravioletten Lichtstrahlen und Röntgenstrahlen ausfüllen.[1])

1) Nach Le Bon existirt eine unsichtbare Strahlung, von ihm „schwarzes Licht" genannt, welche von allen Körpern ausgesandt wird, wenn sie von Licht bestrahlt wurden. Perrigot und Becquerel (Beibl. **21**, 793, 1897) behaupten, es handle sich hierbei nur um ultrarothe Strahlen, welche Ebonit durchdringen und wie bekannt die Eigenschaft haben, Phosphoreszenz auszulöschen und auf vorbelichteten Platten die von brechbareren Strahlen begonnene Wirkung fortzusetzen.

Das „schwarze Licht" soll auch die Eigenschaft haben, ein Elektroskop zu entladen.

Theorien.

A. Molekulartheorien.

I. Theorie von Faraday.

Die Dissociationstheorie, welche wir bisher unseren Betrachtungen zu Grunde gelegt haben, rührt im Wesentlichen von Faraday (1838) her. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass Faraday noch nicht die präzise Vorstellung von Gasatomen, Molekülen, Ionen u. s. w. hatte, welche wir heute auf Grund der Resultate der kinetischen Gastheorie, der elektrolytischen Dissociationstheorie u. s. w. besitzen, und dass demgemäss die ursprüngliche Faraday'sche Theorie wesentlich umgearbeitet und vervollständigt werden musste, um auf alle Erscheinungen anwendbar zu werden. Es sei in dieser Hinsicht nur erinnert an die erhebliche Rolle, welche der elektrisirten (d. h. ionenhaltigen) Luft zugeschrieben wurde, wie sie zuerst in meiner im Jahre 1884 erschienenen Arbeit betont wurde,[1]) sowie an die Hypothese, dass die Entladung stets mit einem Zerfall der Moleküle verbunden ist.[2])

Letztere Annahme, an die wohl Faraday ebenfalls gedacht hat, war für ihn nach dem damaligen Stande der Kenntnisse unbrauchbar, da die Entladungen sich in gleicher Weise, wie in zusammengesetzten Gasen, auch in chemisch einfachen, wie Wasserstoff, Sauerstoff, Chlor, Quecksilberdampf u. s. w. vollzogen.

Heute, wo im Allgemeinen angenommen wird, dass auch die Moleküle der einfachen Gase aus zwei Atomen bestehen, also zerfallen können, bereitet uns dieser Umstand keine Schwierigkeit mehr, wenigstens nicht in allen Fällen.

Geblieben ist freilich die Schwierigkeit bei Quecksilberdampf,[3]) welcher sorgfältigen chemischen und physikalischen Untersuchungen zufolge als einatomig betrachtet werden muss, insofern eine grosse Anzahl von Beobachtungen (insbesondere von Arons) vorliegt, welche zeigen, dass auch in diesem einatomigen

1) O. L., Wied. Ann. 22, 327, 1884 und 63, 285, 1897.
2) In dieser Weise wohl zuerst in O. L., Wied. Ann. 11, 687, 1880 ausgesprochen.
3) Ebenso auch bei Zink- und Kadmiumdampf.

Dampf die Erscheinungen in gleicher Weise verlaufen, wie in Dämpfen und Gasen mit zusammengesetzten Molekülen.

Ist also die Dissociationstheorie zutreffend, dann müssen wir, wie zuerst Warburg[1]) hervorgehoben hat, die Annahme machen, dass auch Quecksilberdampf noch weiter zerlegbar sei.

Anhaltspunkte für eine solche Annahme bieten sich aber zur Zeit nicht — falls nicht etwa entsprechend den neuesten Versuchsergebnissen von V. Meyer über die Jodoniumradikale[2]) die Hypothese gerechtfertigt erscheint, dass auch die scheinbar einfachen Metalle in Wirklichkeit zusammengesetzte Körper sind.[3])

Die Sachlage ist für die Dissociationstheorie noch insofern besonders ungünstig, als auch bei Entladungen in anderen Gasen, wie gezeigt, das Hinzutreten von Quecksilberdampf sofort eine ganz gründliche Veränderung sämmtlicher Erscheinungen bewirkt in dem Sinne, dass da, wo der Metalldampf auftritt, der Entladungsgradient ungemein herabgesetzt erscheint.

Die Schwierigkeit, welche das Verhalten der Metalle hinsichtlich der Entladungserscheinungen der Dissociationstheorie bereitet, ist aber nicht die einzige. Stösst doch schon überhaupt ein Versuch, die Fähigkeit der Metalle, den Strom zu leiten (und die Elektrizität der an metallischen Elektroden bei gewöhnlicher Elektrolyse sich ausscheidenden Ionen aufzunehmen) durch die Dissociationstheorie zu erklären, sowie die Erklärung des Erglühens von Metallen unter dem Einfluss von Kathodenstrahlen[4]) in dem Crookes'schen Apparat Fig. 359 und der von Becquerel und Goldstein beobachteten Färbung der Alkalihaloidsalze, insbesondere mit Rücksicht auf die Versuchsergebnisse von Kreutz und Giesel,[5]) auf sehr erhebliche Schwierigkeiten und Bedenken.


Fig. 359.

Ein Austausch der Ionenladungen mit der Ladung der Elektroden und das Fortschreiten dieser Ladungen in letzteren lässt sich nur so deuten, dass die Moleküle der Metalle besonders leicht in Ionen zerfallen und dass eine fortwährende Spaltung und Wiederbildung von Molekülen in der festen oder flüssigen Metallmasse stattfindet. Ebenso kann wohl die erwähnte Wirkung der Kathodenstrahlen auf Krystalle von Alkalihaloidsalzen nur durch eine Spaltung der Moleküle verständlich gemacht werden.

1) Warburg, Wied. Ann. **40**, 17, 1890 und J. J. Thomson, Beibl. **21**, 1017, 1897.

2) V. Meyer, Probleme der Atomistik, Verh. der Naturf.-Vers. in Lübeck 1895.

3) Nach L. Boltzmann, Wied. Ann. **13**, 544, 1881 können schon wegen der komplizirten Beschaffenheit der Gasspektra die Atome keine wirklichen materiellen Punkte sein, sondern müssen noch weiter zusammengesetzt sein.

4) Vgl. oben S. 343.

5) Vgl. S. 489.

Darauf, dass eine Bewegung von Ionen auch in festen Körpern möglich ist, weisen allerdings die Versuche über Elektrolyse von regulär krystallisirtem Jodsilber[1]) hin. Aber wie soll man sich diese Zerspaltung in Ionen z. B. in Quecksilber vorstellen, d. h. einem Metall, dessen Moleküle nach den zur Zeit herrschenden chemischen und physikalischen Theorien auch im Flüssigkeitszustande einatomig sind?[2])

Soll man sich diesen Körper etwa überhaupt nur als loses Aggregat von positiven und negativen Ionen denken oder bedürfen die chemischen Theorien, auf welchen die Annahme der Einatomigkeit beruht, einer Aenderung?

Oder muss auch im festen und flüssigen Zustande eine Dissociation höherer Ordnung angenommen werden?

Und wenn dem so wäre, warum wird nicht, da man doch z. B. Quecksilber durch Erhitzen unter Druck über die kritische Temperatur[3]) wohl ebenso wie andere Flüssigkeiten in Dampf überführen kann, die metallische Leitungsfähigkeit erhalten bleiben, warum erweist sich Quecksilberdampf als Isolator?[4])

Es muss der Zukunft überlassen bleiben, die Antwort auf diese Fragen zu finden.

Eine andere schwer zu beantwortende Frage ist, was geschieht, wenn sämmtliche Gasmoleküle aus dem Entladungsraume entfernt sind, d. h. wenn sich die Elektroden in einem absoluten Vakuum befinden. Kann die Entladung auch durch den leeren Raum gehen?

J. Cuthbertson[5]) ist der Ansicht, dass das Vakuum kein Leiter sein kann, weil das Licht mit zunehmender Verdünnung schwächer wird.[6])

Der Uebersetzer bemerkt dazu: „Hr. Cuthbertson scheint hier seinen Gegnern zu viel zu thun, denn es wird hoffentlich kein Mensch behauptet haben, dass ein leerer Raum ein leitender Körper sein könne; übrigens ist doch wohl soviel wahrscheinlich: wenn das Gefäss von Luft leer gepumpt ist, und sich kein anderer elektrischer Körper mehr in demselben befindet, so kann sich nichts der abstossenden Kraft in den Theilchen der elektrischen Flüssig-

1) O. L., Molekularphysik I, 226; Wied. Ann. **34**, 18, 1885; O. L., Elektrizität und Licht, S. 254, § 144. Vgl auch Reiff, Wied. Ann. **56**, 42, 1895.

2) L. Silberstein, Elektrotechn. Zeitschr. **3**, 1, 1897, fasst den kontinuirlichen elektrischen Strom als eine Aufeinanderfolge einer grossen Anzahl sehr schneller disruptiver Entladungen auf. Vgl. auch Oberbeck, Wied. Ann. **47**, 379, 1892.

3) Bartoli hat (1886) den Nachweis geführt, dass Methylalkohol immer mehr zunehmende Leitungsfähigkeit bis zur kritischen Temperatur zeigt, wo dieselbe plötzlich verschwindet.

4) Hittorf, Maxwell u. A. zeigten, dass Quecksilberdampf bei Atmosphärendruck selbst bei ziemlich hoher Temperatur vollkommen isolirt.

5) J. Cuthbertson, Abhandlung von der Elektrizität aus dem Holländischen, Leipzig 1786, S. 144.

6) Cuthbertson in Amsterdam verfertigte seine Luftpumpen, welche angeblich auf $^1/_{100000}$ zu evakuiren gestatteten, nach Smeaton; sie waren bei ihm zu 440 holländischen Gulden käuflich.

keit widersetzen und die elektrische Materie wird sich in dem ganzen Gefäss ausbreiten, ohne von leitenden Körpern herumgeführt zu werden."

Sind nach Faradays Vorstellungsweise (vgl. S. 25) Induktion und Entladung Vorgänge im Gase, so können sie allerdings im absoluten Vakuum nicht stattfinden.[1])

Faraday selbst spricht sich über die Induktion (Influenz) im Vakuum mit grosser Zurückhaltung aus. Er hält es zunächst überhaupt nicht für erwiesen, dass die Herstellung eines absoluten Vakuums möglich oder denkbar sei, denn es könnte das, was wir Atom nennen, das Centrum eines unendlich ausgedehnten Gebildes sein, was freilich voraussetzen würde, dass sich die Atome gegenseitig durchdringen können.[2]) Mit anderen Worten, er hält es für möglich, dass der Raum kontinuirlich mit Materie erfüllt sei und nur gewisse Kraftzentra (Wirbel?) das bilden, was wir als Materie bezeichnen. Wenn es aber ein absolutes Vakuum gäbe, so wäre es nicht undenkbar, dass durch dieses hindurch eine direkte Fernewirkung in geraden Linien stattfinde in ähnlicher Weise wie Wärme in einem materiellen Substrat sich durch Leitung von Theichen zu Theilchen in gebogenen Bahnen fortpflanzt, im Vakuum dagegen geradlinig mit ganz anderer Geschwindigkeit in Form der strahlenden Wärme.[3])

Faraday widerstrebt es augenscheinlich, den leeren Raum als mit Aether gefüllt anzunehmen, obschon diese feine Materie nicht etwa um jene Zeit unbekannt war, sondern allgemein als Träger der Lichterscheinungen betrachtet wurde.[4])

In der That, wenn man berücksichtigt, dass eine Materie, die Stosskraft ausüben soll, auch Masse, d. h. Trägheit besitzen muss, die Trägheit des Aethers sich aber nur in sehr problematischer Weise bestimmen lässt,[5]) so kann man die Abneigung Faradays gegen Annahme einer solchen Substanz wohl begreifen. Indess ist die Annahme des Aethers unabweislich nöthig, um zu erklären, dass das Licht den Weltraum zu durchdringen vermag und, nachdem wir wissen,

---

1) Vgl. auch J. J. Thomson, Phil. Mag. (5) 15, 427, 1883.

2) Faraday, Experimentaluntersuchungen III, S. 263, 1843.

3) l. c. 240, 1840.

4) Der Aether (im Sanskrit âschtra) erscheint bereits in der griechischen Mythologie als Personifikation der oberen reinen Himmelsluft, einer der Grundsubstanzen, aus welcher sich das Weltall gebildet hat.

Nach Aristoteles ist er ein fünftes Element, die „quinta essentia", welches weder schwer noch leicht, weder warm noch kalt und auch nicht wie die irdischen Dinge der geradlinigen, sondern der kreisförmigen (wirbelnden) Bewegung unterworfen ist.

Newton (siehe Rosenberger, Geschichte der Physik II, S. 241) betrachtet den Aether als ein Medium, welches noch viel dünner ist als die von ihm angenommene „Lichtmaterie", aber ungemein grosse Elastizität besitzt (ca. 490000000000 mal grösser als die der Luft). Er ist seiner Meinung nach vermuthlich die Ursache der Gravitation, indem jeder Körper von mehr dichten zu weniger dichten Partien des Aethers zu kommen sucht oder indem die Körper durch denselben gegen einander gedrückt werden. Er durchdringt alle Körper, ist die Ursache von Kohäsion und Adhäsion, von elektrischer Attraktion und Repulsion, der Fortpflanzung der Lichtmaterie und auch sämmtlicher Lebenserscheinungen.

5) O. L., Elektrizität und Licht, S. 341, 1895.

dass das Licht nichts anderes als eine elektrische Wellenbewegung ist, müssen wir auch zugeben, dass der Aether dielektrisch polarisirbar ist.[1])

Aber schon die weitere Frage, wie gross die Dielektrizitätskonstante des Aethers angenommen werden muss, begegnet wieder Schwierigkeiten. Nach v. Helmholtz und Boltzmann[2]) könnte dieselbe = 1 oder auch als sehr klein betrachtet werden. Man könnte versuchen, hierüber Anhaltspunkte zu gewinnen, indem man die Ablenkung eines Elektrometers im Vakuum und in Luft beobachtete.

Dass ein Elektrometer im Vakuum wirklich funktionirt, ist schon mehrfach nachgewiesen worden. So beobachtete bereits Gray, dass die elektrische Wirkung sich auch auf Körper im Vakuum erstreckt. Worthington[3]) zeigte ebenso, dass ein elektrisches Pendel oder Blattgoldblättchen im sog. absoluten Vakuum ebenso funktionirt wie in gewöhnlicher Luft. Die Pendelkugel wird erst angezogen und nachdem sie gleichartig elektrisch geworden, wieder abgestossen.

Indess wurde bereits S. 325 gezeigt, dass hier wahrscheinlich Doppelschichten eine grosse Rolle spielen und Edlund[4]) nimmt geradezu an, dass ein vollkommenes Vakuum auch ein vollkommener Leiter sei, da, abgesehen von Uebergangswiderständen an Elektroden, die Leitungsfähigkeit eines Gases mit abnehmender Dichte zunimmt. Die Gasmoleküle sind seiner Ansicht nach gewissermaassen Hindernisse, welche die Leitungsfähigkeit des Aethers beeinträchtigen.

Die Nordlichterscheinungen, welche mit den Sonnenflecken in naher Beziehung stehen, sollen nach Edlund[5]) darauf hinweisen, dass auch der leere Raum zwischen Sonne und Erde die Elektrizität zu leiten vermag.

Aber gerade in dieser Hinsicht kann man einwenden, dass, wenn der Aether ein Leiter wäre, überhaupt keine elektrische Wellenbewegung, also kein Licht von der Sonne zu uns gelangen könnte. Durch den Hertz'schen Nachweis,[6]) dass das Licht wirklich eine elektrische Wellenbewegung ist, scheint diese Frage erledigt zu sein.[7])

---

1) Vgl. auch Faraday, Gedanken über Schwingungsstrahlen, Experimentaluntersuchungen III, S. 414, Mai 1846.

2) H. v. Helmholtz in Boltzmann, Vorlesungen über Maxwells Theorie II, S. 59, Leipzig 1893. Vgl. auch Schütz, Verh. d. Naturforschervers. in Frankfurt a. M. 1896 und in Braunschweig 1897.

3) Worthington, Phil. Mag. (5) **19**, 218, 1885 (und Nat. **27**, 434, 1883).

4) Edlund, Beibl. **8**, 145, 1884.

5) Edlund, Wied. Ann. **15**, 514, 1882. Vgl. auch Paulsen, Sur la nature et l'origine de l'Aurore Boréale (Extrait des Obs. de Godthaab), Copenhagen, 1894 und Lenard, Wied. Ann. **63**, 260, 1897; ferner Koch, Wied. Ann. **38**, 216, 1889.

6) H. Hertz hat in seiner „Mechanik" versucht, die Schwierigkeiten zu beseitigen und alle Erscheinungen als Bewegungserscheinungen sichtbarer und verborgener Stoffe zu deuten, der Versuch ist indess nicht über den ersten Anfang hinausgekommen. (Vgl. die Vorrede von H. v. Helmholtz, ferner L. Boltzmann, Vorl. über d. Prinzip d. Mechanik und Müller-Lehmann, Grundriss der Physik, Schlussbetrachtung, S. 777.

7) Eine neue Schwierigkeit zeigt sich aber bei Berücksichtigung der Gravitationserscheinungen. Es möge unter einem Rezipienten, in welchem absolutes Vakuum

Eine weitere Schwierigkeit kann man finden in der verschiedenen Färbung des positiven und negativen Lichtes. Indess zeigen die Versuche bei Argon, dass dieser chemisch einfache Körper[5]) sogar verschiedenes positives Licht giebt, nämlich rothes beim Durchgang schwacher Entladungen und blaues, wenn die Entladungsintensität durch Anschalten von Leydener Flaschen erhöht wird,[6]) so dass man zu dem Schlusse berechtigt ist, dass auch die Verschiedenheit des positiven und negativen Lichtes in Luft und Stickstoff nur auf verschiedener Entladungsintensität am positiven und negativen Pol beruht, was freilich wieder voraussetzt, dass die Entladungen stets intermittirend sind.

Eine dritte Schwierigkeit, die sich der verbesserten Faraday'schen Dissociationstheorie entgegenstellt, ist die, dass die Annahme gemacht werden muss, die Entladung sei unter allen Umständen intermittirend, obschon manche Versuche sich kaum mit dieser Annahme in Einklang bringen lassen, oder nur unter der Voraussetzung, dass die Pulsationen der Entladung mit so überaus grosser Schnelligkeit erfolgen, dass die Schwankungen der Spannung schon in geringer Entfernung von den Ausgangsstellen der Entladung an den Elektroden unmerklich werden.

Dass überhaupt Schwankungen der Spannungen in den Zuleitungen der Elektroden stattfinden, scheint allerdings, ausser aus den bereits angeführten Erscheinungen, aus den Versuchen G. Jaumanns[7]) über die Entstehung sog. „Interferenzflächen" im negativen Glimmlicht zu folgen, welche beobachtet werden, wenn zwei parallelen plattenförmigen Kathoden von derselben Quelle Elektrizität zugeführt wird, und deren Lage und Form sich je nach der Länge der Zuleitungen ändert. (Vgl. S. 172.)

„Bei Verschiebung des Schleifkontaktes S (Fig. 360) aus der Mitte der (die beiden Kathoden K_1 und K_2 verbindenden) Schlinge verschiebt sich die Interferenzfläche aus der mittleren Lage nach seitwärts, wobei sie nur wenig breiter (ca. 1 mm breit) wird. Die Grösse und Richtung ihrer Verschiebung

---

hergestellt ist, ein Pendel aufgehängt sein. Ausserhalb des Rezipienten befinde sich ein zweites Pendel von gleicher Schwingungsdauer. Letzteres werde in Schwingung gesetzt. Durch die Wirkung der Gravitationskraft zwischen beiden Pendeln muss dann auch das im Vakuum befindliche in Schwingung gerathen d. h. es wird Bewegungsenergie durch das absolute Vakuum hindurch übertragen. Dies ist offenbar nur denkbar (vorausgesetzt, dass man die Energie als Bewegungszustand deutet), wenn in dem Vakuum eine Masse sich befindet, die sich bewegen und Stosskraft ausüben kann, d. h. Aether. Der Aether muss somit auch der Vermittler der Gravitationswirkungen sein. Nach den bisherigen Theorien des Aethers, welchen zufolge derselbe lediglich als Träger der dielektrischen Polarisation erscheint, lässt sich dies aber nicht verstehen. (Vgl. auch Föppl, Einführung in die Maxwell'sche Theorie, Leipzig 1894, S. 299 und Dr. G. Mie, Energiefluss, Habilitationsschrift, Karlsruhe 1898 [noch nicht erschienen]).

5) Vgl. Rizzo, Atti Acc. Torino, **32**, 1897.

6) Eder und Valenta, Sitzb. Wien. Akad. **104**, IIa, 1171, 1895 beobachteten sogar drei verschiedene Spektra des Argons, nämlich ausser den genannten noch weissliches Licht bei Anwendung sehr grosser Kondensatoren.

7) G. Jaumann, Sitzb. d. Wien. Akad. **106**, IIa, 533, 1897.

entspricht der Grösse und Richtung der Verschiebung des Schleifkontaktes derart, dass, wenn dieser die ganze Schlinge durchläuft, sich die Interferenzfläche von einer Kathode bis zur andern verschiebt. Hierbei schlagen sich die Ränder der Interferenzfläche über die nähere Kathodenplatte zurück. In Fig. 360 zeigt $J_1 J_1$ die Gestalt der unverschobenen, $J_2 J_2$ die Gestalt der verschobenen Interferenzfläche."

Da die Erscheinung nur zu beobachten ist bei ganz bestimmter Grösse der in die Hauptzuleitung eingeschalteten Funkenstrecke F, scheint es sich freilich um gröbere Schwingungsvorgänge zu handeln, welche auf grössere Entfernungen in den Zuleitungen Potentialschwankungen erzeugen, nicht um jene feinen Pulsationen, welche auch bei stetiger Stromzuleitung der fraglichen Theorie gemäss vorhanden sein müssen.[1])



Fig. 360.

Eine vierte Schwierigkeit ist die von Goldstein beobachtete Undurchdringlichkeit sehr dünner Kollodiumhäutchen für die Fluoreszenz erregende Wirkung der Kathodenstrahlen,[2]) obschon dünne Platin- und Silberschichten für diese Wirkung durchlässig sind. Ist überhaupt die Phosphoreszenz durch äusserst rasch aufeinander folgende dielektrische Verschiebungen bedingt, so lässt sich nicht recht verstehen, weshalb diese in dem isolirenden Kollodium erlöschen, in dem gutleitenden Metall dagegen fast unverändert fortschreiten sollen.

Derselben Schwierigkeit begegnet indess auch die Erklärung der Absorption des Lichtes vom Standpunkte der elektromagnetischen Lichttheorie und der Durchgang von Röntgenstrahlen selbst durch 4 cm dicke Eisenplatten zeigt, dass hier irgend eine fundamentale Eigenschaft der Materie oder des Aethers noch nicht genügend bekannt ist. Es dürfte deshalb nicht zulässig sein, solcher vereinzelter scheinbar widersprechenden Thatsachen wegen die Theorie vollständig zu verwerfen, um so weniger als sie die einzige ist, welche nicht nur eine kleine Gruppe von Erscheinungen, sondern die weit überwiegende Mehrzahl zu erklären vermag.

1) Ein Hauptgrund, welcher zur Annahme dieser feinen Intermittenzen nöthigt, ist die Durchkreuzung der Stromlinien des negativen und positiven Lichtes. Dieser Grund würde entfallen, wenn man positives und negatives Licht als verschiedene Arten der Stromleitung, ersteres vielleicht als eine Art elektrolytischer, letzteres als eine Art konvektiver Leitung betrachten könnte. Eine solche Superposition zweier verschiedenartiger Leitungsvorgänge nehmen die im Folgenden besprochenen Theorien an. Indess scheint mir vorläufig keine derselben zur Erklärung der Gesammtheit der Erscheinungen brauchbar zu sein.

2) S. 492, Anmerk.

2. Theorie von Plücker.

Zu Faradays Zeit hatte man, wie bereits bemerkt, noch keine klar durchgearbeitete Atomtheorie. Faraday selbst spricht sich öfters dahin aus, die Atome seien wohl nur als Kraftzentra, Ausgangspunkte von Kraftlinien zu denken, die selbst die Eigenschaft haben, sich gegenseitig zu durchdringen.

Erst als in den Jahren 1856 und 1857 die bereits von Daniel Bernoulli (1752) begründete kinetische Gastheorie durch Krönig und Clausius weiter ausgearbeitet worden war und (wie sich O. E. Meyer[1]) ausspricht) „durch ihre Neuheit und die Verschiedenheit von den bis dahin verbreiteten Anschauungen ungewöhnliches Aufsehen erregte“, machte man Versuche, eine nähere Anschauung über die Art des Stromdurchgangs durch Gase auf Grund der Atomtheorie zu gewinnen. Plücker[2]) in Bonn war wohl der erste, der anlässlich seiner Experimentaluntersuchungen in dieser Weise vorging. Er schreibt:

„Ich theile die Ansicht, dass zur Bildung des elektrischen Stromes ponderable Materie erforderlich ist; diese ist aber im Allgemeinen nicht, wie theilweise wenigstens beim Davy'schen Lichtbogen, in feinster Vertheilung übergeführtes Metall oder Kohle, sondern irgend ein Gas.... Die in den Kugeln oder Röhren zurückgebliebenen Gasspuren sind die alleinigen Träger des Stromes und geben sich in der Analyse durch das Prisma in schönster Weise kund, die mit Bestimmtheit nachweist, dass keine von den Elektroden übergeführte Partikel der Elektroden der Grund des Leuchtens des Stromes sind“[3])

Bald sah sich Plücker aber auf Grund weiterer Versuche genöthigt, diese Ansicht zu modifiziren. Er beobachtete nämlich das verschiedene Verhalten des positiven und negativen Lichtes gegenüber magnetischen Kräften. Das positive Licht schien sich wie ein biegsamer stromdurchflossener Leiter zu verhalten, während das negative aus Strahlen zu bestehen schien, welche „von den einzelnen Punkten der negativen Elektrode divergirend nach der umgebenden Glaswand hingehen und von dieser wieder zur Elektrode zurückkehren.“

Diese Strahlen waren also nach seiner Ansicht recurrente Ströme und hatten (scheinbar in direktem Widerspruch zu den elektrodynamischen Gesetzen) die Eigenschaft sich in die magnetischen Kurven, welche durch ihre Ausgangspunkte gehen, zu konzentriren.

Den Grund des Unterschiedes glaubte er schliesslich darin gefunden zu haben, dass die negativen Strahlen zerstäubte Elektrodenmaterie sind.[4]) „Diese zusätzliche Hypothese scheint mir, sagt er, wohl begründet, namentlich darum, weil in Folge der Ablagerung der von der negativen Elektrode herrührenden Materie die innere Glaswandung sich ohne die magnetische Einwirkung gleich-

1) O. E. Meyer, Kinetische Theorie der Gase, Breslau 1877, S. 9.
2) Plücker, Pogg. Ann. **105**, 70, 1858.
3) Plücker, Pogg. Ann. **107**, 110, 1859.
4) Plücker, Pogg. Ann. **113**, 251, 1861.

mässig, unter dieser Einwirkung aber nur da schwärzt, wo sie von denjenigen magnetischen Kurven, aus welchen die Lichtfläche besteht, getroffen wird.“

„Dass es diese von der negativen Elektrode sich losreissenden Platinpartikel sind, welche, indem sie glühen, das magnetische Licht ausmachen, ist offenbar diejenige Annahme, welche am nächsten liegt. Zu bemerken bleibt hierbei aber, dass nicht in allen Fällen die Kugel sich schwärzt; und zwar selbst in solchen Fällen..., wo das magnetische Licht sehr schön und die Einwirkung des Magneten auf dasselbe sehr stark ist, wird nach längerer Zeit keine Ablagerung auf der Kugel bemerkbar. Diese Ablagerung hat überhaupt ein sehr verschiedenes Ansehen je nach der Art des Gases in der Röhre.“....

Die Bemerkung zeigt, dass Plücker selbst von seiner Theorie nicht befriedigt war. In der That hätte man, wenn die Ströme recurrirende waren und nur durch die zerstäubten Theilchen Elektrizität übertragen werden konnte, erwarten sollen, dass überhaupt kein Beschlag entstanden wäre, sondern ähnlich wie beim elektrischen „Puppentanz“ die Partikelchen durch den Strom in beständiger Bewegung zwischen Elektrode und Wand gehalten worden wären.

Auch bleibt unverständlich, wie die im positiven Lichte fortschreitende positive Elektrizität zur Kathode gelangen soll, da positives und negatives Licht durch den dunkeln Raum von einander getrennt sind und wo die nicht an die Glaswand, sondern in den dunkeln Trennungsraum geschleuderten Elektrodenpartikelchen ihre Ladung abgeben oder die entgegengesetzte aufnehmen.

3. Theorie von Hittorf.

Der Irrthum, durch welchen Plücker zur Aufstellung seiner Theorie des Glimmlichts geführt worden war, wurde später bei nochmaliger genauer Untersuchung der Erscheinungen von Hittorf aufgefunden.

Hittorf[1]) äussert sich darüber: „Der Entdecker des magnetischen Verhaltens des negativen Glimmlichts, Plücker, hat die negativen Strahlen in seinen letzten Aufsätzen[2]) als hin- und zurücklaufende Ströme aufgefasst und geglaubt, dieselben stellten sich im Widerspruche mit den elektromagnetischen Gesetzen in die magnetischen Kurven selbst ein. Durch die Krankheit und den unerwarteten Tod meines verehrten Lehrers war es mir nicht gestattet, die ... Versuchsreihe, welche diese Ansicht widerlegt, ihm vorzulegen.“

Die eingehenden Untersuchungen Hittorfs auf dem Gebiete der Elektrolyse legten ihm natürlich nahe, anzunehmen, die Uebertragung der Elektrizität durch Gasmoleküle erfolge in ganz derselben Weise, wie die Leitung des Stromes in Flüssigkeiten.

1) Hittorf, Pogg. Ann. **136**, 220, 1869.
2) Plücker, Pogg. Ann. Bd. **116**, 45, 1862.

Scheinbar spricht dafür, wie schon oben S. 520 hervorgehoben, dass Flüssigkeiten unter Umständen (bei der kritischen Temperatur) kontinuirlich in den Gaszustand übergehen können und dass nicht anzunehmen ist, dass nun plötzlich die Art der Elektrizitätsleitung sich völlig ändere. Dagegen sprechen aber andererseits die Beobachtungen, dass thatsächlich beim Ueberschreiten der kritischen Temperatur sowohl metallische Leitung (Quecksilberdampf), wie auch elektrolytische Leitung (vgl. Bartoli, Beibl. 11, 160, 1887) verschwinden und nur noch disruptive Entladung möglich ist, welche ebensogut auch unter der kritischen Temperatur in Flüssigkeiten stattfinden kann, so dass allerdings ein stetiger Uebergang der Entladungserscheinungen vorhanden ist.

Hittorf fand nun bei Beobachtung der Entladung in evakuirten Gefässen unter Anwendung einer konstanten Elektrizitätsquelle (Chromsäuretauchbatterie) mittelst Drehspiegel und Telephon, dass mit Verminderung des eingeschalteten Widerstandes die Zahl der Pulsationen pro Sekunde stetig grösser wird; dass aber bei einer bestimmten Intensität des Stromes, noch lange ehe die Tonhöhe in einem eingeschaltenen Telephon sich der Grenze der höchsten hörbaren Töne (25000 Schwingungen pro Sekunde) nähert, der Ton im Telephon plötzlich verschwindet.[1]) (Vgl. S. 383.)

Hittorf ist der Ansicht, dass in diesem Falle nicht etwa nur die Zahl der Pulsationen die Hörgrenze übersteigt, sondern die Pulsationen thatsächlich aufhören, da, nachdem diese scheinbar stetige Entladung eingetreten ist, Erhöhung der Kapazität der Elektroden durch Anschaltung eines Kondensators völlig wirkungslos ist, während bei der deutlich pulsirenden Entladung (ganz der Formel gemäss) mittelst des Kondensators die Frequenz der Pulsationen beliebig herabgemindert werden kann.[2])

Dagegen spricht, dass für diese scheinbar stetigen Ströme nicht das Ohm'sche Gesetz gilt, sondern ebenso wie für die intermittirenden Entladungen

1) Dass die Entladung plötzlich scheinbar kontinuirlich wird und nicht die Frequenz der Pulsationen mit Verminderung des Widerstandes stetig zunimmt, wie man erwarten sollte, dürfte darauf zurückzuführen sein, dass eine durch die Entladung hervorgerufene Zustandsänderung des Gases (vielleicht in Folge der auftretenden Strahlungen) nicht mehr zurückgehen kann, sobald die Intervalle zwischen den Einzelentladungen zu klein werden.

2) Dieser Schluss erscheint, wie schon oben S. 383 hervorgehoben, nicht bindend, da nur bei geringer Frequenz der Pulsationen der Kondensator einfach als Zuwachs der Kapazität der Konduktoren aufzufassen ist. Hat sich eine grosse Zahl schwingender Abtheilungen gebildet, wie bei den Obertönen einer überblasenen Orgelpfeife, so ist die Kapazität dieser Abtheilungen, nicht die des Kondensators, maassgebend. Dies wird in noch höherem Grade zutreffen, wenn es sich nicht um länger dauernde Schwingungen, sondern nur Bruchtheile von solchen, d. h. um einfache Pulsationen handelt. Die Schwankungen der elektrischen Spannung werden dann in Folge der starken Dämpfung überhaupt nur in geringer Entfernung von den Elektrodenenden merklich sein, auch wird die Zahl der schwingenden Abtheilungen, sowie die Phase der Schwingungen beständig sich ändern, so dass nicht zu erwarten ist, Knotenpunkte und Schwingungsbäuche auf den Zuleitungen zu entdecken.

das Gesetz der Unabhängigkeit der Stromstärke von der Elektrodenspannung, sowie der Satz, dass die Elektrodenspannung nicht der Länge der Gassäule direkt proportional ist, sondern eine Art „Uebergangswiderstand" auftritt, so dass der Gesammtwiderstand sich zusammensetzt aus einem der Länge proportionalen Theil (welcher nahezu proportional mit dem Drucke wächst) und dem von der Stromstärke unabhängigen Uebergangswiderstand, welcher mit der Verdünnung wächst.[1])

Hittorf glaubt nun dieses eigenthümliche Verhalten darauf zurückführen zu können, dass an der Kathode ein eigenthümliches Hinderniss auftritt, zu dessen Ueberwindung eine bestimmte Spannungsdifferenz, das Kathodengefälle, erforderlich ist, und dass im Uebrigen der Widerstand r des Gases der Stromstärke umgekehrt proportional ist.[2]) Nennt man den Proportionalitätsfaktor ϱ, das Kathodengefälle ε, die Stromstärke i, so wäre nach Hittorfs Ansicht die Spannungsdifferenz der Elektroden

$$e = \varepsilon + i \cdot r = \varepsilon + i \cdot \frac{\varrho}{i} = \varepsilon + \varrho = \text{Konst.}$$

Hittorf[3]) bemerkt noch: „Es ist wahrscheinlich, dass die Umgebung der Kathode nicht allein Sitz eines Widerstandes ist, sondern auch elektromotorische Gegenkräfte entwickelt, welche zur Schwächung des Stromes beitragen."

Gelänge es diesen Widerstand auf irgend eine Weise zu beseitigen, so müsste nach Hittorf das Gas sich gegen den Stromdurchgang ebenso verhalten, wie eine elektrolytisch leitende Flüssigkeit. Er glaubte auch thatsächlich hierzu Mittel gefunden zu haben, nämlich 1) in der Transversalleitung,[4]) 2) in der in sich zurücklaufenden Entladung.

1) Gaugain, C. R. **41**, 152, 1855 spricht zuerst von diesem Uebergangswiderstand, Schultz, Pogg. Ann. **135**, 249, 1868 und Hittorf, Pogg. Ann. **136**, 1 u. 197, 1869 untersuchten ihn näher.

2) Berücksichtigt man, dass Gase bei der kritischen Temperatur kontinuirlich in Flüssigkeiten übergehen können, so erscheint es, meiner Meinung nach, völlig ungereimt, dass für Gase der Widerstand der Stromstärke umgekehrt proportional sein soll, für Flüssigkeiten dagegen konstant.

Ja selbst das Auftreten intermittirender Entladung bei sehr geringer Stromstärke vor dem Eintritt der „kontinuirlichen" Entladung ist nach Hittorfs Theorie keineswegs selbstverständlich. Würden wir beispielsweise das Gas ersetzen durch einen Akkumulator und einen Rheostaten und würden den Akkumulator so reguliren, dass sein Spannungsabfall das Kathodengefälle ε darstellt, den Rheostaten so, dass er die Grösse ρ repräsentirt, so hätten wir allerdings auch bei variabler Stromstärke konstante Spannungsdifferenz der Elektroden, zwischen welche diese beiden Vorrichtungen eingesetzt sind; durch fortgesetzte Verminderung der Stromstärke könnten wir aber nie und nimmer zu einem intermittirenden Strom gelangen.

Eben so wenig wäre die Existenz eines scharf begrenzten Entladungsgebietes (vgl. S. 82 und 284) nach dieser Annahme verständlich, da bei Ersetzung des Rheostaten durch eine Flüssigkeit sich der Strom in dieser allenthalben hin ausbreiten würde.

3) Hittorf, Pogg. Ann. **136**, 234, 1869.

4) Vgl. auch Warburg, Wied. Ann. **31**, 553, 1887.

Unter **Transversalleitung** ist die von **Hittorf** entdeckte Erscheinung zu verstehen, dass quer durch eine von einer kontinuirlichen Entladung durchsetzte Gassäule schon wenige galvanische Elemente einen Strom zu unterhalten vermögen. Die neueren Versuche haben aber gezeigt, dass es sich hier um eine komplizirte Erscheinung wahrscheinlich aktinoelektrischer Natur handelt,[1]) so dass ein Beweis für die Hittorf'sche Ansicht daraus nicht entnommen werden kann. (Vgl. S. 214.)

Was die **Hittorf'schen in sich zurücklaufenden Entladungen**[2]) anbelangt, bei denen die Elektroden, somit auch der Uebergangswiderstand vermieden ist, so wurde bereits oben S. 49 gezeigt, dass es sich hier wohl in den meisten Fällen um Seitenentladungen handelt.[3])

Versuche, bei welchen Seitenentladungen ausgeschlossen sind, ergaben thatsächlich ein negatives Resultat.

Föppl,[4]) welcher solche Versuche ausführte, erhielt unter Umständen, unter welchen das induzirte Potentialgefälle ca. 1200 Volt pro Meter betragen musste, keinen nachweisbaren Induktionsstrom in der Vakuumröhre, obschon bei Ersatz derselben durch einen Kupferdraht das zum Nachweis benutzte Galvanometer sehr energisch beeinflusst wurde, und somit jedenfalls auch einen Ausschlag gegeben hätte, wenn man an Stelle des Gases etwa angesäuertes Wasser in die Röhre eingefüllt hätte.[5])

---

1) C. A. **Mebius** (Polarisationserscheinungen in Vakuumröhren, Wied. Ann. **59**, 695, 1896) zeigt auch, dass an Sonden, welche in die Bahn der Entladung eintauchen, sich ein Potentialsprung ausbildet, welcher zuweilen beträchtliche Werthe annehmen kann, so dass die Versuche **Hittorfs** über Transversalströme, da in Folge Ungleichheit des Kathoden- und Anodengefälles ein Theil des Hauptstromes abgezweigt wird, nicht als beweisend gelten können.

In unmittelbarer Nähe einer als Anode dienenden Sonde betrug der Potentialsprung im Mittel 23.5 Volt. Derselbe wurde mit zunehmender Stromstärke grösser. Bei einer als Kathode dienenden Sonde betrug der Potentialsprung schon bei einer Stromstärke von $11 \cdot 10^{-6}$ Ampère 77 Volt und nahm mit wachsender Stromstärke rasch zu. Der Sprung ist in beiden Fällen am grössten, wenn sich die Sonde im dunkeln Kathodenraum befindet und zwar ist in diesem Falle das Anodengefälle (bei $i = 10^{-5}$ Ampère) ca. 200 Volt grösser als das Kathodengefälle.

2) Um in Vakuumröhrchen einen in sich selbst zurücklaufenden Induktionsstrom zu erhalten, „umgiebt man dieselben mit einer Spirale, welche aus einem mit Guttapercha bekleideten Kupferdraht gewickelt ist. Der von mir benutzte Draht war 1 mm dick und gegen 3 m lang. Lässt man durch denselben eine Leydener Flasche sich entladen, so füllt sich das Innere der Röhre momentan mit demselben blauen Lichte, welches beim Weissglühen der Kathode erhalten wurde.“ (**Hittorf**.)

3) J. J. **Thomson**, Phil. Mag. (5) **32**, 321, 445, 1891, welcher das Gefäss Fig. 39 durch eine in sich zurücklaufende Röhre ersetzte, in welcher sich eine Scheidewand aus Kupfer anbringen liess, fand, dass bei eingeschobener Kupferwand die Entladung nicht erfolgt, so dass scheinbar die Auffassung von **Hittorf** sich bestätigt findet.

4) **Föppl**, Wied. Ann. **33**, 492, 1888.

5) Die Röhre hatte eine lichte Weite von 4,2 mm, eine Länge von ca. 4 m und war zu einer Spirale von 48 Windungen gebogen. Sie bildete zum Theil die Sekundärspule eines Induktionsapparates, zum Theil eine Galvanometerspule.

Bei eigenen Versuchen, die ich in dieser Richtung anstellte, bei welchen allerdings Seitenentladung nicht ausgeschlossen war, fand ich keinen erheblichen Unterschied, ob der Lichtring in sich geschlossen war, oder nur ein Segment desselben auftrat.[1])

Grosse Schwierigkeiten bereitete auch Hittorf die Erklärung der Glimmlichtstrahlen, um so mehr, da er durch Prüfung des magnetischen Verhaltens gefunden hatte, dass dieselben als einfache Ströme zu betrachten sind, welche die Richtung zur Kathode verfolgen und den elektrodynamischen Gesetzen gehorchen. Nichts destoweniger hielt er an der Ansicht fest, die Art und Weise der Fortpflanzung der Elektrizität im positiven und negativen Licht sei eine verschiedene. „Die eine", sagt er, „welche im positiven Lichte sich geltend macht, ist dem Vorgange analog, dem wir bei der Leitung der Metalle und Elektrolyte begegnen. Die zweite dagegen, welche das (negative) Glimmlicht bildet, gehört den Gasen eigenthümlich an und verdient eine grössere Beachtung, als ihr bis jetzt zugewandt wurde. Bei derselben sind die Theilchen der negativen Oberfläche Ausgangspunkte einer Bewegung, welche im gasförmigen Medium gleichmässig nach allen Seiten strahlenförmig sich ausbreitet und darin mit der Wellenbewegung übereinstimmt."

Nach Hittorf kann also die Bildung des negativen Glimmlichtes (welches unter Umständen allein auftreten kann, während die Anode völlig dunkel bleibt), aus dem Verlauf der Kraftlinien und dem Entladungspotentialgefälle nicht abgeleitet werden, sie ist vielmehr ein von der disruptiven Entladung völlig verschiedener Prozess, welcher kontinuirlich andauern kann in dem Sinne, wie eine Schallquelle kontinuirlich Töne aussenden kann.

In sehr hoch evakuirten Röhren fehlt das Anodengefälle, so dass sich die ganze Röhre auf das Potential der Anode ladet, in Luft von gewöhnlicher Dichte sind indess Anoden- und Kathodenübergangswiderstand gleich, da sonst Ladung eines Luftkondensators unmöglich wäre.

4. Theorie von G. Wiedemann.

Nimmt man mit Hittorf Uebergangswiderstände an den Elektroden an, sei es in Form einer Anziehungskraft der Materie gegen die Elektrizität oder einer isolirenden Schicht, welche zuerst durchbrochen werden muss, ehe die Elektrizität auf das Gas übergehen kann, so würde es scheinbar möglich sein, gemäss den Vorstellungen der kinetischen Gastheorie, indem man die Gas-

1) O. L., Wied. Ann. 44, 653, 1891.

moleküle als kleine leitende Körperchen denkt, die Elektrizitätsleitung in Gasen als eine konvektive zu deuten, in ähnlicher Weise wie sie etwa durch in der Luft suspendirte Staubtheilchen bewirkt werden könnte. Das absolute Vakuum müsste dabei als Nichtleiter vorausgesetzt werden. Dies ist der Grundgedanke der Theorie von G. Wiedemann[1]), welche sich aber nicht lange erhalten hat und von dem Urheber selbst wieder zurückgezogen wurde.

Ist das Hinderniss des Uebergangswiderstands überwunden, so strömt nach dieser Theorie die Elektrizität sofort mit endlicher Geschwindigkeit aus und geht auf die Gastheilchen über, welche nun von den Elektroden abgestossen werden.

Von der Entladung in Form des elektrischen Windes würde sich also leuchtende Entladung nur dadurch unterscheiden, dass „die von der Elektrode fortgetriebenen Gastheilchen mit der in ihnen enthaltenen Elektrizität durch das umgebende Medium auf grössere Entfernungen mit einer so grossen Geschwindigkeit, dass dieselbe einer bis zum Leuchten gesteigerten Temperaturerhöhung entspräche, fortgeschleudert werden.“ (Vgl. S. 19.)

Die Ursache der polaren Verschiedenheiten schien sich zu ergeben aus einer Reihe von Versuchen von G. Wiedemann und Rühlmann, die zu dem Ergebniss führten, dass für negative Elektrizität ein geringeres Potentialgefälle zur Entladung nöthig ist als für die positive.

G. Wiedemann und Rühlmann nahmen desshalb an, der Unterschied zwischen positiver und negativer Seite der Entladung sei zurück zu führen auf die geringere Kraft, mit welcher die elektrischen Gastheilchen an der Kathode fortgetrieben werden. Indess ist, wie später Heydweiller[2]) zeigte, die kleinere Spannung für negative Entladung nur durch positive Ladung der Glaswand bedingt. Bei genauen Versuchen zeigt sich kein Unterschied, demgemäss lässt sich auch diese Theorie nicht aufrecht erhalten.

5. Theorie von Crookes.

William Crookes machte in einem Vortrage vor der British Association[3]) betitelt: „Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand“[4]) eine Verbesserung der Wiedemann'schen Theorie bekannt, welche er durch einige in eleganter Weise ausgeführte Demonstrationen so populär zu gestalten wusste,

1) G. Wiedemann, Pogg. Ann. **145**, 394, 1872 und **158**, 252, 1876 und Elektrizität IV (2) 576, 1885.

2) Heydweiller, Wied. Ann. **48**, 225, 1893.

3) Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften in London.

4) Deutsch von H. Gretschel, Leipzig, Quandt und Händel, 1879.

dass sie bald allgemeines Aufsehen erregte[1]) und auch heute noch zahlreiche Anhänger besitzt.[2])

Crookes nimmt an, dass sich speziell in der Nähe der Kathode das Gas in einem „ultragasigen" Zustande befindet, den er den „vierten Aggregatzustand" und in Anlehnung an einen schon früher zuerst von Faraday (1816), später von Zantedeschi[3]) (1848) gebrauchten Ausdruck „strahlende Materie" nennt.

Faraday schrieb: „Wenn wir uns einen Uebergang denken, ebensoweit über die Verdampfung hinaus, wie diese über dem flüssigen Zustande liegt, und wenn wir den mit den fortschreitenden Uebergängen verhältnissmässig gesteigerten Betrag der Veränderung in Betracht ziehen, so werden wir vielleicht, sofern wir uns überhaupt eine Vorstellung bilden können, nicht weit von der strahlenden Materie treffen; und wie bei der vorigen Umwandlung manche Eigenschaften verloren gingen, so würden hier wohl noch viel mehr verschwinden."

Indem nun Crookes Versuche über Entladungen in hoch verdünnten Gasen, ähnlich wie schon zuvor Plücker und Hittorf ausführte, kam er auf den Gedanken hier die Faraday'sche strahlende Materie wirklich vor sich zu haben. Er schreibt (l. c. S. 7): „Diese Erscheinungen sind so verschieden von alledem, was bei gewöhnlichem Drucke in Luft oder Gas von gewöhnlicher Spannung sich ereignet, dass wir zu der Annahme geführt werden, wir stehen hier der Materie in einem vierten Aggregatzustande gegenüber, einem Zustande, der ebenso fern vom gasförmigen, als dieser vom flüssigen ist."... (l. c. S. 38): „Beim Studium dieses vierten Zustandes der Materie scheinen wir endlich unter unseren Händen und im Bereich unserer Prüfung die kleinen untheilbaren Theilchen zu haben, von denen man mit gutem Grunde voraussetzt, dass sie die physikalische Grundlage des Weltalls bilden.[4]) Wir haben gesehen, dass in einigen ihrer Eigenschaften die strahlende Materie ebenso materiell ist als dieser Tisch, während sie in anderen Eigenschaften fast den Charakter strahlender Energie annimmt. Wir haben thatsächlich das Grenzgebiet berührt, wo Materie und Kraft in einander überzugehen scheinen, das Schattenreich zwischen dem Bekannten und

1) Tesla, (N. Teslas Untersuchungen über Mehrphasenströme etc., deutsch von Maser, Halle a. S. 1895, S. 197) schreibt: „Als ich noch auf der Hochschule war, las ich ... die Beschreibung seiner Versuche über strahlende Materie. Ich las sie nur einmal in meinem Leben — zu jener Zeit — und doch kann ich mich aller Einzelheiten jener entzückenden Arbeit bis auf den heutigen Tag erinnern. Es giebt, mit Verlaub zu sagen, nur wenige Bücher, welche auf den Geist eines Studirenden einen solchen Eindruck machen."

2) Vgl. z. B. die in neuester Zeit erschienenen Arbeiten über Röntgenstrahlen, namentlich englische.

3) Vgl. Faraday, „Strahlende Materie" in Dr. Bence Jones, Leben und Briefe von Faraday und O. L., Molekularphysik II, S. 74.

4) Gemeint sind die kleinsten Theilchen der Urmaterie, aus welcher der Prout-schen Hypothese gemäss die Atome sämmtlicher Körper zusammengesetzt sein sollen. Siehe Crookes, Die Genesis der Elemente, deutsch von Delsle, Braunschweig, 1888.

Unbekannten, welches für mich immer besondere Reize gehabt hat. Ich denke, dass die grössten wissenschaftlichen Probleme der Zukunft in diesem Grenzlande ihre Lösung finden werden und selbst noch darüber hinaus; hier, so scheint mir's, liegen letzte Realitäten."

Dass es sich bei den Kathodenstrahlen wirklich um mit grosser Kraft fortbewegte Materie handle, schien namentlich hervorzugehen aus Versuchen mit beweglichen Rädchen. Bei einem dieser Apparate diente in einem evakuirten Glasgefässe ein horizontales Rädchen mit Flügeln, die einseitig mit Glimmer bedeckt sind, als Kathode (Fig. 361). Beim Durchgang des Stromes drehte es sich. Bei einem anderen Apparate bewegt sich ein vertikal stehendes Rädchen mit Glimmerschaufeln auf gläsernen Schienen. Beim Durchgang der Entladungen bewegt es sich vom negativen zum positiven Pole[1]) (Fig. 362).



Fig. 361.

Die neue Theorie fand nun nicht nur viel Beifall, sondern auch viel Widerspruch.

E. Wiedemann[2]) betrachtet als schlagendsten Beweis für die Unrichtigkeit der Crookes'schen Annahme, dass bei weiten Röhren mit dicker Wandung an der Innenseite des Rohres nur ein schwaches, an der Aussenseite[3]) dagegen ein sehr helles grünes Phosphoreszenzlicht



Fig. 362.

auftritt, was nicht möglich wäre, wenn der Crookes'schen Vorstellung gemäss die Phosphoreszenz eine Wirkung des Bombardements durch die Moleküle wäre.

1) Die Wirkung dieser Apparate beruht vermuthlich auf elektrostatischen Anziehungen und Abstossungen, wohl auch zum Theil auf der Wirkung von Wärme, wie bei Radiometern.

2) E. Wiedemann, Wied. Ann. 9, 159, 1880.

3) Vielleicht ist die Ursache dieser auffälligen Erscheinung in der Temperaturdifferenz der Innen- und Aussenseite des Rohres zu suchen.

Er findet ferner,[1]) dass zur Erklärung der beobachteten Wärmewirkungen den fortgeschleuderten Theilchen der Elektrodenmaterie ganz kolossale Geschwindigkeiten zugeschrieben werden müssten.[2])

Zur Annahme dieser grossen Geschwindigkeiten nöthigen auch die Versuche von Wheatstone,[3]) welchen zufolge die Entladung in einer Vakuumröhre mit einer Geschwindigkeit von 200000 m pro Sekunde fortschreitet. Die Geschwindigkeit der fortgeschleuderten Materie müsste also von ähnlicher Grössenordnung angenommen werden, was sich experimentell durch Beobachtung einer sehr beträchtlichen Verschiebung der Spektrallinien des ausgesandten Lichtes (dem Doppler'schen Prinzip gemäss) konstatiren lassen müsste, während thatsächlich sorgfältige Untersuchungen von v. Zahn nicht die geringste derartige Verschiebung haben erkennen lassen.[4])

Die Dicke des dunklen Kathodenraumes sollte nach Crookes gleich der mittleren Weglänge der Gasmoleküle sein. Dass dies auch nicht annähernd zutrifft, wurde von Puluj[5]) eingehend nachgewiesen. Dieselbe sollte z. B. bei 0,06 mm Druck 0,9 mm betragen, ist aber thatsächlich 22 mm, bei 1,46 mm Druck müsste sie 0,04 mm sein, beträgt aber in Wirklichkeit 2,5 mm.

Goldstein[6]) macht ferner darauf aufmerksam, dass die Kathodenstrahlen durchaus nicht dunkel sind. Unmittelbar an der Kathode ist sogar ein heller Lichtsaum und die geradlinige Fortpflanzung ist in der Glimmlichthülle keineswegs zerstört, auch ist die Richtung der von einer konkaven Kathode ausgehenden Strahlen keineswegs konstant, sondern hängt von der Gasdichte und der Grösse eingeschalteter Funkenstrecken ab.

Durch Anwendung nach Art des Windrädchens in der Lichtmühle eingerichteter Kathoden suchte, wie schon bemerkt, Crookes nachzuweisen, dass die Kathodenstrahlen im Stande seien, eine Art Reaktionskraft auszuüben.

Hittorf (1874) zeigte dagegen, dass die Bewegung des Crookes'schen elektrischen Radiometers nicht durch die strahlende Materie, sondern durch die Erhitzung der Glaswand bedingt ist. Die Rotation tritt nämlich erst ein, wenn die heissen Glimmstrahlen die Wand erreichen. Wenn man das Rädchen während der Entladung festhält und erst bei Unterbrechung des Stromes loslässt, nachdem die Gefässwände erhitzt sind, so rotirt dasselbe ebenso schnell wie während der Entladung.[7])

---

1) E. Wiedemann, Wied. Ann. 10, 252, 1880.

2) Dies trifft indess in Wirklichkeit nicht zu. Lord Kelvin, Chem. News 66, 319, 1892, berechnete die Geschwindigkeit, welche die Moleküle nach der Crookes'schen Hypothese haben müssten, um die thatsächlich beobachteten Wärmeerscheinungen zu erklären. Es ergab sich aber nur etwa das Doppelte der mittleren Geschwindigkeit der Moleküle normaler Luft.

3) Wheatstone, Pogg. Ann. 34, 464, 1835.

4) Vgl. auch Goldstein, Berl. Monatsber. 1880, 22. Jan. und Wiechert, S. 537.

5) Puluj, Strahlende Elektrodenmaterie, Wien, 1883, S. 7 u. ff.

6) Goldstein, Wied. Ann. 12, 90, 1881.

7) Hittorf, Wied. Ann. 21, 127, 1884.

Trotz dieser Einwendungen und noch mancher anderer stimmen neuerdings auch Perrin,[1]) Mc Clelland,[2]) Swinton,[3]) J. J. Thomson, Wiechert, W. Wien u. A. der Crookes'schen Theorie zu. Man muss jedenfalls festhalten, dass auch diese Theorie nicht zu erklären vermag, wie die positive Elektrizität, ohne positives Licht zu erzeugen, durch den dunkeln Trennungsraum und das negative Licht zur Kathode gelangen kann.

---

6. Theorie von Puluj.

Der bereits erwähnten Bedenken halber konnte sich Puluj[4]) in Prag der Crookes'schen Theorie nicht anschliessen und versuchte desshalb unter Beibehaltung der Idee äusserst rasch von der Kathode fortgestossener Theilchen im Anschluss an die älteren Ansichten von Plücker über die Betheiligung

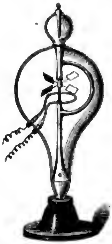


Fig. 363.

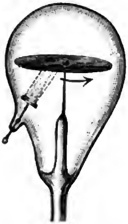


Fig. 364.

zerstäubter Elektrodenmaterie an der Stromleitung eine neue den Thatsachen besser entsprechende Theorie aufzustellen.

Er äussert sich:

„Nach meiner Ansicht besteht die Materie, welche den dunkeln Raum erfüllt, aus mechanisch losgerissenen Elektrodentheilchen, welche mit statischer negativer Elektrizität geladen sind und mit grosser Geschwindigkeit in gerader Richtung sich progressiv bewegen.

Damit über das Wesen dieser Materie kein Zweifel obwalte, nenne ich sie „strahlende Elektrodenmaterie", zum Unterschied von sogenanntem

1) Perrin, C. R. **121**, 1130, 1895.
2) Mc Clelland, Proc. Roy. Soc. **61**, 227, 1897.
3) Swinton, Proc. Roy. Soc. **61**, 222, 1897.
4) Puluj, Strahlende Elektrodenmaterie, Wien 1883, S. 11.

„Glimmlicht", welches aus einem Gemenge von Elektroden- und Gastheilchen besteht." [1])

Als einen Hauptbeweis für die Fortschleuderung von Theilchen von der Kathode betrachtete er die Funktion des Crookes'schen Radiometers, welche er an zahlreichen ähnlichen von ihm selbst ersonnenen Vorrichtungen näher studirte. Manche derselben scheinen in der That auf den ersten Blick für eine solche Auffassung zu sprechen; z. B. kann durch schief gerichtete Kathodenstrahlen (Fig. 363) eine kreisförmige Scheibe in kontinuirliche Drehung versetzt werden, wie wenn von der Kathode ein Luftstrom ausginge, oder durch senkrecht aufsteigende Strahlen ein Rädchen mit schiefen Flügeln (Fig. 364).

Vermuthlich erklärt sich aber diese Wirkung durch die Intermittenzen des Stromes, sowie durch die Elektrisirung der Scheibe in Folge aktinoelektrischer Ionenbildung.

Dass die Gintl-Puluj'sche Theorie sicher nicht zutreffend ist, geht nach Goldstein [2]) daraus hervor, dass, wenn sich bei Anwendung einer Platin- und einer Aluminiumkathode nach dem Prinzip der Deflexion der Kathodenstrahlen phosphoreszenzfreie Flächen an der Wand der Entladungsröhre zeigen, dieselben sich in ganz der gleichen Weise mit zerstäubtem Platin bedecken wie die phosphoreszirenden.

Crookes [3]) weist gegenüber Puluj darauf hin, dass in elektrodenlosen Röhren die Kathodenstrahlen sich ebenfalls ausbilden, obschon keine Zerstäubung stattfindet, da beim Ueberziehen der als Kathode dienenden Rohrwand mit Yttererde auf der gegenüberliegenden Wand das Phosphoreszenzlicht der letzteren nicht sichtbar wurde.

7. Theorie von A. Schuster.

Versuchte Puluj die Crookes'sche Theorie durch Beifügung Plückerscher Ideen zu verbessern, so glaubte Schuster durch Beiziehung der Hittorfschen Vorstellung von der elektrolytischen Leitungsfähigkeit der Gase dieselbe besser brauchbar machen zu können. [4])

Nach seiner Ansicht zerfallen die Gasatome in der Nähe der Kathode in Atome, von denen der elektronegative Bestandtheil mit grosser Geschwindigkeit von der Kathode weggeschleudert wird.

1) Siehe auch Gintl, Studien über Crookes strahlende Materie, Prag 1880.

2) Goldstein, Wied. Ann. **12**, 255, 1881.

3) Crookes, Chem. News **63**, 53—112, 1891.

4) A. Schuster, Proc. Roy. Soc. **37**, 317, 1884, Wied. Ann. **24**, 74, 1885, Proc. Roy. Soc. **47**, 526, 1890.

Durch den dunkeln Raum bewegen sich die negativen Ionen ohne Verlust an Energie, in der Glimmlichthülle aber erzeugen sie in Folge der Zusammenstösse das Glimmlicht.

Die positiven Ionen bilden um die Kathode eine atmosphärenartige Hülle, während die negativen sich unmittelbar an die Anode anheften.

Im dunkeln Trennungsraum findet Wiedervereinigung der von der Anode und Kathode ausgehenden Ionen statt.

Schichtenbildung erfolgt, wenn in abwechselnden Lagen die Zersetzungen die Wiedervereinigungen übertreffen.

Ob das Zerfallen der Moleküle auch in einiger Entfernung von den Elektroden stattfindet oder nicht, lässt sich nach Schuster vorläufig nicht entscheiden.

Eine wesentliche Stütze für seine Ansicht glaubte Schuster darin finden zu können, dass in dem einatomigen Quecksilberdampf überhaupt keine Glimmentladung stattfindet. Diese Annahme hat sich aber durch die Untersuchungen von Warburg, Arons u. A. als irrthümlich erwiesen.

E. Wiedemanns Einwand, dass nach seiner (und Crookes) Theorie eine Verschiebung der Spektrallinien eintreten müsste, ist nach Schuster[1]) nicht zutreffend, weil das Leuchten erst bei Vernichtung der fortschreitenden Bewegung eintritt, somit das Doppler'sche Prinzip keine Anwendung finden kann.

8. Theorie von Wiechert.

Während Schuster die von der Kathode fortgestossenen Partikelchen als Ionen betrachtet, nähert sich die Ansicht von Wiechert[2]) derjenigen von Crookes, insofern er aus Beobachtungen über die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Kathodenstrahlen und deren Ablenkung durch einen Magneten auf Grund der Annahme, dass es sich dabei um Fortschleuderung kleiner materieller Partikelchen von der Kathode handle, die Masse eines solchen Partikelchens durch Rechnung kleiner als den 200sten und grösser als den 4000sten Theil der Masse eines Wasserstoffatoms findet.

Berücksichtigt man, dass das blaue Glimmlicht bei manchen Versuchen Ströme von mehreren Ampère überträgt, so erscheint nicht verständlich, wie diese ungeheuere Elektrizitätsmenge von so kleinen Partikelchen, deren Geschwindigkeit nach Wiechert allerdings $> 2 \cdot 10^8$ oder $30 \cdot 10^8$ cm/sec. ist, übertragen werden kann und dass sich dabei nicht einmal eine nennenswerthe elektrostatische Wirkung der Kathodenstrahlen beobachten lässt.

1) A. Schuster, Nat. **30**, 230, 1884.

2) Wiechert, Sitzb. d. phys. ökonom. Ges. z. Königsberg 1897, 7. Jan. und Beibl. **21**, 443, 1897 und Willy Wien, Verh. phys. Ges. Berlin, **16**, 165, 1897.

B. Aethertheorien.

I. Theorie von Goldstein.

Die Ausführungen Hittorfs, dass man in den Plücker'schen Glimmlichtstrahlen wohl eine von der Kathode ausgehende Wellenbewegung zu sehen habe, veranlassten Goldstein[1]) zu untersuchen, ob es sich dabei nicht etwa um eine Wellenbewegung im Aether handle, d. h. eine Bewegung, die auch noch nach völliger Entfernung des Gases möglich wäre. Hierfür schien ihm namentlich der Umstand zu sprechen, dass seinen Versuchsergebnissen zufolge das negative Licht in das positive einzudringen vermag;[2]) ferner der Umstand, dass da, wo die Strahlen (von ihm zuerst Kathodenstrahlen genannt) auf die Glaswand treffen, hellgrünes Phosphoreszenzlicht entsteht.

Weitere Versuche führten ihn dazu, die anfänglich in Uebereinstimmung mit Hittorf gemachte Annahme, dass negatives und positives Licht prinzipiell verschieden seien, fallen zu lassen. Er sagt: „Nachdem ich erkannt hatte, dass die Charaktere des negativen Lichtes an jeder beliebigen Stelle der positiven Lichtsäule durch blosse Querschnittsänderung des Entladungsraumes sich hervorrufen lassen und dass jede einzelne positive Schicht nichts ist, als ein modifizirter Büschel negativen Lichtes, wurde jener Gegensatz von Kathodenlicht und positivem Lichte mir ebenso zweifelhaft, wie schon früher eine grosse Zahl anderer vermeintlicher Gegensätze zwischen beiden, deren Aufhebung mir bereits gelungen war." Er hält indess fest an der Ansicht, dass nicht die Gasmasse, sondern der Aether das Substrat der Entladung bilde.[3]) „Die Entladung stellt eine Bewegung des freien Aethers dar und ist an sich lichtlos. Diese Bewegung des Aethers verschwindet, indem sie den Gasmolekülen und den sie konstituirenden Atomen sich mittheilt; die Theilchen eines jeden Moleküls schwingen dann nach den spezifischen Struktur- und Elastizitätsverhältnissen des Moleküls und übertragen die so in ihnen erregten Transversalschwingungen wieder als solche auf den Aether; so wird die ursprünglich elektrische Bewegung zu Licht, und zwar zu Licht, dessen Oscillationsperioden abhängen von der spezifischen Natur des Gasmoleküls. Das Leuchten elektrisch durchströmter Gase sehe ich hiernach an als ein Resonanzphänomen."

Aus dem Hineinwachsen des negativen Lichtes in das positive schliesst er, dass die Kathodenstrahlen ungeschlossene Ströme sein müssen. Dabei bleibt freilich unverständlich, was aus der durch diese ungeschlossenen Ströme transportirten Elektrizität, welche sich doch nicht endlos anhäufen kann, schliesslich wird.

---

1) Goldstein, Monatsber. der Berl. Akad. 1876, S. 284, und Sitzungsber. der Wien. Akad. 1876, Nov. und „Eine neue Form elektrischer Abstossung", Berlin 1880, S. 8.

2) Goldstein, Wied. Ann. **11**, 844, 1880.

3) Goldstein, Wied. Ann. **12**, 265, 1881.

2. Theorie von E. Wiedemann.

E. Wiedemann schliesst sich im Prinzip der Goldstein'schen Auffassung an, doch weicht seine Theorie auch in sehr wesentlichen Punkten von derselben ab. Er betrachtet das negative und positive Licht nicht als identisch, sieht vielmehr in den Kathodenstrahlen transversale Aetherwellen, welche sich von gewöhnlichen Lichtstrahlen nur durch sehr kurze Wellenlänge unterscheiden, im positiven Licht dagegen eine longitudinale Wellenbewegung.

Er schreibt[2]):

„Nach meiner Ansicht können wir uns vielleicht den Vorgang bei der Entladung in folgender Weise vorstellen. Die von der Maschine gelieferte Elektrizität, welche wir uns etwa als freien Aether denken, wird auf der Oberfläche der Elektroden zum Theil als freie Elektrizität angehäuft und dort durch die Wechselwirkung zwischen ihr und den Metalltheilen an dem Austritte in die Umgebung gehindert; ein solcher kann erst eintreten, wenn ihre Dichte eine hinlänglich grosse Höhe erreicht hat; zugleich erzeugt aber die Elektrizität in dem umgebenden Medium eine dielektrische Polarisation und zwar in der Weise, dass die Aetherhüllen der einzelnen Gasmoleküle deformirt werden und während der Rotation der Moleküle um ihre Achsen stets eine bestimmte Orientirung beibehalten. Tritt eine Entladung ein, so pflanzt sich zunächst die dadurch hervorgerufene plötzliche Aenderung der dielektrischen Polarisation von der Elektrode aus durch die Aetherhüllen der Gasmoleküle fort und setzt sie dadurch in Schwingungen. Daneben kann freilich auch ein Uebergang freier Elektrizität von der Elektrode aus von Molekül zu Molekül stattfinden.

Wie der Lichtstrahl bei phosphoreszirenden und fluoreszirenden Körpern in den Aetherhüllen der Moleküle oscillatorische Bewegungen bedingt, deren lebendige Kraft beträchtlich grösser ist als der Temperatur entspricht, so ist es auch hier der Fall. Wie dort die das Leuchten bedingende Aetherbewegung sich allmählich auf die Massen der Moleküle selbst überträgt und Wärmebewegungen veranlasst, so tritt auch bei der elektrischen Entladung ganz analog sekundär eine Erhöhung der Gesammttemperatur ein.

Haben nämlich in Folge dieser Uebertragung zwei Moleküle des Gases eine grössere oscillatorische Bewegung als ihnen nach dem der Temperatur desselben entsprechenden normalen Verhältniss zwischen translatorischer und oscillatorischer (rotatorischer) Bewegung zukommt, so verwandelt sich bei dem Zusammenstoss derselben allmählich ein Theil der innern Bewegung in die translatorische, bis endlich der normale Zustand eingetreten ist.

Dass wirklich in den elektrisch leuchtenden Gasen ein solcher Ueberschuss von innerer Bewegung vorhanden ist, zeigen die niedrigen Temperaturen derselben.....

1) Goldstein, Wied. Ann. **11**, 844, 1880.

2) E. Wiedemann, Wied. Ann. **10**, 246, 1880.

Die durch die elektrischen Entladungen eingeleiteten Schwingungen können so stark werden, dass die Moleküle selbst auseinanderfallen und sich in ihre Atome zerlegen, ähnlich wie wir beim Auftreffen chemisch wirksamer Strahlen auf Chlorsilber Zersetzungen, oder beim Auftreffen auf Chlor ein Aktivwerden desselben wahrnehmen.

Führen die oscillatorischen Bewegungen zu einem Zerfallen der Moleküle, so wird die dazu nöthige Energie den Molekülen durch die Elektrizitätsquelle zugeführt und wird nachher bei der Wiedervereinigung von denselben an die Kalorimeter wieder abgegeben.....

Sehr wahrscheinlich erscheint es daher,.... dass die Entladungen in einer Fortführung von Schwingungen bestehen, die einen Theil ihrer Energie an die Gastheilchen abgeben.....

Die so sehr grossen Unterschiede im Verhalten der positiven und negativen Elektrizität lassen sich vielleicht erklären, wenn man annimmt, dass die Fortführung der letzteren allein durch die Fortpflanzung dielektrischer Polarisationen bedingt ist, während die der ersteren zugleich mit einem Uebergang des freien Aethers von Molekül zu Molekül verknüpft ist, wie dies v. Ettingshausen[1]) auch neuerdings aus den Versuchen von Hall[2]) geschlossen hat.....

Die Fortpflanzung der von der negativen Elektrode ausgehenden Entladung gehorcht nahezu den Gesetzen des Lichtes..... Nur dürfen wir die Elektrode selbst nicht etwa als Lichtquelle auffassen, sondern als eine einer Wellenoberfläche parallele Fläche.....

In welcher Weise die von beiden Elektroden ausgehenden Entladungen sich ausgleichen, ist eine noch offene Frage."

In einer späteren gemeinschaftlich mit Ebert[3]) verfassten Abhandlung geht E. Wiedemann von der Grundvorstellung aus, dass jedes Entladungsrohr ein Kondensator ist, bei dem die Elektroden die Rolle der Belegungen, die Gasfüllung diejenige des Dielektrikums spielt. Auch die Rohrwandung ist für die Kapazität des Kondensators mitbestimmend. Bei der Entladung der Röhre bilden sich Oscillationen aus, welche für die Art des Elektrizitätsübergangs maassgebend sind.

Um die Entstehung dieser Oszillationen „das Ansprechen der Entladungsröhre" zu begünstigen, wurde dieselbe zwischen die Platten des Endkondensators eines Lecher'schen Drahtsystems gebracht, dessen Potentialschwankungen durch den Ausdruck

$$\varrho = B \cdot e^{-\beta t} \sin (bt + b'),$$

worin B die Amplitude, β das Dämpfungsverhältniss, b die Periode der Eigenschwingungen des sekundären Kreises und b' die Phase der Impulse am Endkondensator bedeuten. Besonders geeignet zur Anregung erwiesen sich elek-

---

1) v. Ettinghausen, Wien. Ber. **81**, 4. März 1880.
2) Hall, Beibl. **4**, 404, 1880.
3) H. Ebert u. E. Wiedemann, Wied. Ann. **48**, 547 u. **49**, 1, 1893.

trische Schwingungen von der Schwingungszahl 10^8. Es findet dabei ein Hinauftransformiren der Schwingungszahl auf 10^{14} statt.

Dass nicht etwa eine sehr rasche einseitige Strömung des Aethers im Glimmlicht vorhanden ist, schlossen E. Wiedemann u. Ebert[1]) daraus, dass sich keinerlei Aenderung der Eigenschaften des Lichtäthers im neg. Glimmlicht zeigte.

Abweichend von der ursprünglichen Ansicht E. Wiedemanns gelangen sie bezüglich der Kathodenerscheinungen zu dem Ergebniss, dass dieselben „länger andauernden Longitudinalbewegungen" zuzuschreiben sind."[2])

Eine Hauptstütze der Ansicht, dass es sich wirklich um Schwingungen handelt, sehen sie[3]) in der Bildung elektrischer Schatten, welche ihrer Vorstellung gemäss auf der Schirmwirkung der schattengebenden Körper gegen elektrische Oscillationen beruhen.

Bereits J. Stefan[4]) fand nämlich, dass eine 1 m lange 10 cm hohe Metalltafel nicht nur dann die Wirkung eines Hertz'schen Oscillators auf einen Resonator aufhob, wenn sie diesen letzteren elektrisch beschattete, sondern auch dann, wenn sie hinter ihm stand. Der elektrische Schatten bildet sich also nicht nur hinter, sondern auch vor dem Körper aus, vermuthlich in Folge der Ausbildung stehender Schwingungen. Gleiches gilt für das Leuchten von Vakuumröhren. Hält man z. B. hinter ein leuchtendes Vakuumrohr einen Metallschirm von passender Grösse, so erlischt es. Selbst sehr dünne Metallschichten und Flüssigkeitsschichten vermögen eine solche Schirmwirkung auszuüben. Ebenso auch leuchtende Vakuumröhren. In letzterem Falle liegt der Schatten um das leuchtende Rohr ringsherum.

Nach G. Klingenberg[5]) wäre es durch die kalorimetrischen Untersuchungen von E. Wiedemann erwiesen, dass das Leuchten der Gase unter dem Einfluss der Entladungen nicht auf einem Glühzustande des Gases beruht, sondern auf einer direkten Wirkung der Entladung auf den Aether. Ich glaube indess, dass man hierbei berücksichtigen muss, dass die Zahl von Molekülen, welche von der Entladung ergriffen werden, nach E. Wiedemann eine im Verhältniss zur Gesammtzahl sehr geringe ist. Da nun E. Wiedemann und Warburg durch Uebergang der Wärme von diesen direkt erhitzten Molekülen auf die gesammte Gasmasse sich eine mittlere Temperatur von etwa 100° herstellt, so kann die Temperatur der wirklich Licht aussendenden Theilchen eine äusserst hohe sein.[6])

---

1) E. Wiedemann u. Ebert, Wied. Ann. **36**, 643, 1889.

2) Vgl. E. Wiedemann u. Schmidt, Wied. Ann. **60**, 510, 1897.

3) H. Ebert u. E. Wiedemann, Wied. Ann. **49**, 32, 1893.

4) J. Stefan, Wied. Ann. **41**, 416, 1890.

5) G. Klingenberg, Elektrot. Zeitschr. **17**, 221, 1896.

6) Vgl. dagegen Hittorf, Wied. Ann. **7**, 578, 1879 u. E. Wiedemann, Wied. Ann. **5**, 524, 1878 u. **6**, 301, 1879.

Anscheinend widerspricht dem allerdings der Umstand, dass (nach E. Wiedemann) chemische Verbindungen, welche bei so hohen Temperaturen zersetzt werden, nicht die Spektra ihrer Bestandtheile zeigen, sondern ein für sie selbst charakteristisches Spektrum. Bei der äusserst kurzen Dauer einer Einzelentladung werden sich indess (meiner Ansicht nach) die Atome der Verbindung während des Leuchtens nicht merklich voneinander entfernen können, so dass sie sich in gleicher Weise gegenseitig beeinflussen, wie wenn sie noch verbunden wären.

3. Theorie von H. Hertz.

Der Auffassung von Goldstein und E. Wiedemann schloss sich auch Hertz[1]) an, nachdem er durch eingehende Versuche glaubte erkannt zu haben, dass die Lichtphänomene in elektrisch durchströmten Gasen in keinem Zusammenhang zu den Stromlinien stehen, somit nur zu deuten seien als Fluoreszenz- oder Phosphoreszenzphänomene, hervorgebracht durch Strahlen, welche sich unabhängig von der Strombahn fortpflanzen.

Die Bestimmung der Stromlinien in der von Hertz ausgeführten Weise scheint mir indess verfehlt zu sein, wie dies bereits auf S. 290 u. ff. näher erörtert ist, so dass auch der obige Schluss, dass die Lichtphänomene in keinem Zusammenhang mit den Stromlinien stehen, wohl nicht zutrifft.

In ähnlichem Sinne hat sich auch schon früher Schuster[2]) ausgesprochen, welcher darauf hindeutet, dass der Hertz'sche Versuch nur beweist, „dass Elektrizität nicht kontinuirlich in einen geschlossenen Raum fliessen kann, ohne auf irgend welche Art wieder herauszukommen. . . .“ „Hertz muss die Nichtexistenz der Rückströme beweisen, um die Theorie mit Erfolg angreifen zu können.“

Hierin irrt sich aber wohl Schuster, denn Hertz hat (wenigstens seiner Meinung nach) bewiesen,[3]) dass die Strömung eine kontinuirliche ist und da lässt sich nicht verstehen, weshalb (nach der Vorstellung Schusters) die negativ elektrischen Atome zuerst mit grosser Geschwindigkeit gegen die Glaswand geworfen werden und dann wieder langsam zurückströmen sollen.

Die Ablenkung der Magnetnadel kann nach Schuster (im Gegensatz zu Hertz) keinen Aufschluss über die Stromrichtung geben, da die Versuche viel zu ungenau sind.

1) H. Hertz, Wied. Ann. **19**, 809, 1883.

2) Schuster, Wied. Ann. **24**, 77, 1885.

3) H. Hertz (Wied. Ann. **19**, 795, 1893) berechnet auf Grund seiner Versuche, dass, intermittirende Entladung angenommen, die Zahl der Partialentladungen in einer 20 cm langen Geissler'schen Röhre zwei Billionen pro Sekunde betragen müsste. Er hält es für unmöglich, dass eine so grosse Zahl Entladungen pro Sekunde eintreten könne.

Den Einwand, dass die Entladung erst bei einer bestimmten Potentialdifferenz beginne und die Elektrodenspannung im Gegensatz zu dem für kontinuirliche Ströme geltenden Ohm'schen Gesetz von der Stromstärke unabhängig ist, begegnet Hertz durch folgendes Gleichniss. A und B (Fig. 365) seien zwei plattenförmige Elektroden. An A sei mittelst einer Spiralfeder ein Gewicht α angehängt, welches unten mit einer schlecht leitenden Platte β bedeckt ist. Ist nun die Potentialdifferenz zwischen A und B unterhalb eines gewissen Werthes a, so vermag die Platte B das Gewicht α nicht bis zur Berührung herunterzuziehen, es geht also kein Strom durch die Vorrichtung. Erreicht sie aber den Werth a, so dass α heruntergezogen und festgehalten wird, so wird für eine kurze Zeit Strom durchgehen, bis die Spannung zu gering geworden ist, um α festzuhalten. Der Strom ist intermittirend. Sind nun zahlreiche derartige Spiralfedern mit Gewichten vorhanden, so ist eine Steigerung der Spannung über a unmöglich, selbst wenn eine Feder völlig festgehalten und dadurch kontinuirlicher Stromübergang ermöglicht wird, da ein Versuch zur Erhöhung der Spannung nur die Senkung eines zweiten Gewichtes veranlassen würde, wodurch die reichlichere Elektrizitätszufuhr wieder kompensirt wird.

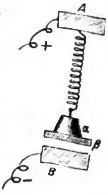


Fig. 365.

Wenn nun auch dieses Gleichniss sehr geschickt ersonnen ist, so dürfte es doch schwer halten, an der Hand desselben das eigentliche Verhalten der Materie oder des Aethers abzuleiten. Jedenfalls ist dies bis jetzt nicht gelungen.

4. Theorie von H. v. Helmholtz.

Die Arbeiten von Goldstein und Hertz sind grösstentheils in dem Helmholtz'schen Laboratorium ausgeführt worden. Auch Helmholtz selbst scheint sich mit der Frage der elektrischen Entladungen wenigstens vom theoretischen Standpunkt befasst zu haben. Er äussert sich darüber gelegentlich[1]):

„Ich trage mich mit dem Gedanken, ob nicht die Kathodenstrahlen die Ausbreitungsform eines plötzlichen Stosses auf den Maxwell'schen elektromagnetischen Aether sind, wobei die Elektrodenfläche die erste Wellenfläche bildete. Denn soweit ich sehe, müsste eine solche Welle sich genau so ausbreiten, wie jene Strahlen es thun. Dann würde auch Ablenkung der Strahlen durch Magnetisirung des Mediums möglich sein. Longitudinalwellen wären

1) Helmholtz in Hertz, Schriften vermischten Inhalts, herausg. von Th. Lenard, Einleitung XXV, 1893.

leichter vorzustellen und könnten existiren, wenn die Konstante meiner elektrom. Arbeiten nicht Null wäre. Aber auch Transversalwellen könnten zu Stande kommen." [1])

5. Theorie von G. Jaumann.

Jaumann[2]) wurde durch einige eigenartige Beobachtungen[3]) zu der Ansicht geführt, dass die elektrostatische Potentialvertheilung vor der Entladung für den Eintritt derselben nicht allein maassgebend sei, sondern das Produkt derselben mit der Geschwindigkeit der Potentialänderung, so dass selbst bei verschwindend kleinem Potentialgefälle Entladung eintreten könnte, wenn sich dasselbe nur rasch genug ändert. Diese Versuche, welche sich indess wohl auch anders deuten lassen, führten ihn zu einer Theorie der Kathodenstrahlen, nach welcher dieselben als „longitudinales Licht" aufzufassen sind.[4])

Er sagt: „Die auffallendste Eigenthümlichkeit der verdünnten Luft besteht darin, dass sie schon durch kleine Wirkungen (kleine Energieänderungen) grosse Eigenschaftsänderungen (z. B. Temperatur-Volumänderungen u. s. w.) erfährt. Es rührt dies von der sehr kleinen Kapazität ihrer Volumeinheit für die Wärme und für andere Energien her.

Es ist nun zu vermuthen, dass aus gleichem Grunde auch elektrische Vorgänge eine starke Zustandsänderung der verdünnten Luft herbeiführen. Die elektrische Entladung hängt augenscheinlich mit starken Eigenschaftsänderungen des Mediums zusammen, ja vielleicht von vorausgehenden Eigenschaftsänderungen desselben ab, welche nicht ausschliesslich auf Temperaturänderungen zurückgeführt werden können. . . ."

„Das besondere elektrische Verhalten der verdünnten Luft rührt davon her, dass durch elektrische Vorgänge mittelbar ihre elektrische und magnetische Konstante geändert wird, was auf den Ablauf dieser Vorgänge zurückwirkt."

Auf Grund dieser Vorstellung betrachtet nun Jaumann in den Maxwell'schen Gleichungen die Dielektrizitätskonstante und magnetische Permeabilität als veränderliche Grössen und gelangt dadurch zu dem Ergebniss, dass auch longitudinale Wellen möglich sein müssen, welche nach der ursprünglichen Maxwell'schen Theorie nicht auftreten können und dass eine Ablenkung solcher longitudinaler Wellen im magnetischen Felde erfolgen muss, wie sie die Kathodenstrahlen zeigen.

1) Vgl. auch Schütz, Verh. d. Naturforschervers. in Frankfurt a. M. 1896 und Braunschweig 1897.

2) Jaumann, Sitzb. d. Wien. Akad. **97**, IIa, 765, 1888.

3) Vgl. S. 425.

4) Jaumann, longitudinales Licht, Wied. Ann. **57**, 147, 1896.

Sowohl die theoretischen, wie die experimentellen Ergebnisse dieser Jaumann'schen Arbeit sind beanstandet worden,[1]) so dass es vorläufig auch auf diesem Wege nicht möglich erscheint zu einer befriedigenden Erklärung der Erscheinungen zu gelangen.

Als besondere Stütze seiner Ansichten betrachtet Jaumann das Auftreten von „Interferenzflächen“ beim Zusammentreffen von Kathodenstrahlen.

Er versteht darunter die hellen Flächen, welche sich in einem einspringenden Winkel einer Kathode ausbilden[2]) und welche den von Mach bei Explosionswellen studirten „Interferenzflächen“[3]) entsprechen sollen. Unter Einwirkung magnetischer Kräfte werden sie verbogen und zwar in derselben Weise wie Kathodenstrahlen, die längs der Flächen verlaufen. Bedingung für ihre Entstehung ist, dass die beiden Theile der Kathode mit derselben Elektrizitätsquelle verbunden sind. Trennt man sie und ladet jede durch eine besondere Influenzmaschine mit gemeinsamer Anode, so treten sie nicht auf. Ebensowenig, wenn die beiden Kathoden mit derselben Influenzmaschine durch getrennte Zuleitungen von verschiedener Länge verbunden sind; sie verschwinden schon bei geringen Unterschieden in den Zuleitungen.[4])

Nach Versuchen von E. Wiedemann und G. C. Schmidt[5]) wäre Jaumanns Resultat bezüglich der Entstehung der Interferenzflächen irrthümlich. Die sog. „Interferenzfläche“ blieb gleich scharf, mochten die Drähte gleich lang sein, oder mehrere Meter von einander abweichen. In einer neueren Arbeit,[6]) auf welche schon oben (S. 523) hingewiesen wurde, hält indess Jaumann seine Angaben aufrecht und erklärt die abweichenden Resultate der Genannten dadurch, dass sie an Stelle von Glimmlichtstrahlen Kathodenstrahlen benutzt hätten.

Ebenso hält Jaumann[7]) sein „Entladungsgesetz“ allen gemachten Einwendungen gegenüber aufrecht, giebt ihm aber folgende etwas modifizirte Form: „Die Dauer T des Vorprozesses ist eine abnehmende Funktion der gegebenen Potentialdifferenz V des Feldes und der Geschwindigkeit AN der vorhandenen Kraftschwingungen[8]) (ausserdem natürlich eine Funktion von Form und Distanz der Elektroden und der Natur des Dielektrikums“[9]).

1) Vgl. Poincaré u. Jaumann, C. R. **121**, 792, **122**, 74, 76, 517, 988, 990 und E. Wiedemann u. Schmidt, Wied. Ann. **60**, 510, 1897.

2) Jaumann, Beibl. **17**, 978, 1893. Vgl. auch S. 172.

3) Vgl. S. 407 Fig. 276.

4) Von Interferenzen bei den Schichten in Geissler'schen Röhren sprechen schon Grove (vgl. Th. Meyer 1858), Hittorf u. s. w. Interferenzflächen von Kathodenstrahlen glaubten auch Spottiswoode und Moulton, Beibl. **8**, 76, 1884 beobachtet zu haben.

5) E. Wiedemann u. G. C. Schmidt, Wied. Ann. **60**, 510, 1897 und Tollenaar, Kon. Akad. Amsterdam, 1897, S. 310.

6) Jaumann, Sitzb. Wien. Akad. **106**, IIa. 533, 1897.

7) G. Jaumann, Wied. Ann. **62**, 396, 1897.

8) A bedeutet hierbei die Amplitude der Schwingung der elektrischen Kraft in unmittelbarer Nähe und in der Normalrichtung einer Elektrode, N die Schwingungszahl derselben.

9) Dass die Entladung durch die statischen Eigenschaften der Entladungsstrecke nicht ausreichend bestimmt ist, schliesst Jaumann (Wied. Ann. **62**, 398, 1897) aus Ver-

Der „Vorprozess"[1]) ist nach Jaumann keine Entladung, wohl aber ein elektromagnetischer Vorgang, da seine Dauer nach Warburg[2]) durch eine magnetische Kraft stark verändert wird.

Des Näheren bemerkt Jaumann:

„Fig. 366 stellt die Form dieser Abhängigkeit dar. Die drei Koordinaten entsprechen den Werthen T, V (Dauer des Vorprozesses), V (Potentialdifferenz) und $A \cdot N$ (A = Schwingungsamplitude, N = Schwingungszahl der vorhandenen Kraftschwingungen). Von der Fläche, welche den Zusammenhang zwischen diesen drei Grössen im Entladungsangenblicke darstellt, sind drei Schnitte mit beliebigen, den drei Koordinatenebenen parallelen Ebenen

$$T = T_1, \; V = V_1, \; A \cdot N = A_1 \cdot N_1$$

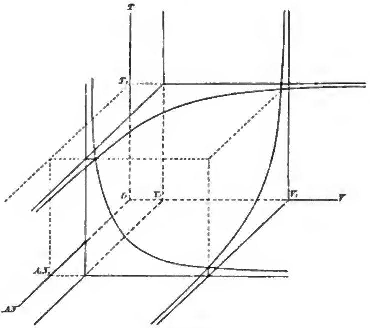


Fig. 366.

dargestellt. Alle diese Schnitte und alle ihnen Parallelen haben zwei den Koordinatenachsen parallele Assymptoten. Sämmtliche Asymptoten liegen in den drei Ebenen $V = V_0$, $T = O$, $A \cdot N = O$.

V_0 ist nahezu jene Potentialdifferenz, welche man als normales Entladungspotential bezeichnet. Es tritt auf für $A N = \infty$ oder für $T = \infty$. Eines

suchen, bei welchen er etwaigen Einfluss elektrisirter Luft in der Entladungsstrecke unberücksichtigt lässt. Zu dieser Vernachlässigung hält er sich berechtigt, da der Vorprozess nach seiner Ansicht kein Entladungsvorgang ist, weil er am Elektrometer keine Potentialänderung beobachtete, welche der Entladung einer zur Erhitzung des Gases genügenden Menge Elektrizität entsprochen hätte. (Wied. Ann. **55**, 673, 1895.)

1) Vergl. S. 379; ferner Jaumann, Wied. Ann. **55**, 674, 1895.

2) Warburg, Wied. Ann. **62**, 385, 1897.

von beiden ist bei allen gebräuchlichen Arten, die Elektroden zu laden, nahezu erfüllt.[1])

1. Der Schnitt $AN = AN_1$ stellt die Verspätung der Entladung dar, welche zwar lange bekannt ist, welche man aber nicht für eine regelmässige Beziehung zwischen V und T ansah, die sie doch ist. Die Form dieser Schnittkurve habe ich (l. c.) angegeben. Ihre Gleichung ist ungefähr die folgende:

$$(V^2 - V_0^2) = \text{const.}\ T^{-1/2}.$$

2. Der Schnitt $T = T_1$ stellt die Exzitation der Entladung durch Kraftschwingungen dar. Die Form dieser Schnittkurve habe ich (l. c.) angegeben.

3. Der Schnitt $V = V_1$ stellt die Verspätung der Exzitation dar, welche ich für die Exzitation der Entladung durch stehende Oszillationen und durch Hertz'sche Strahlen nachgewiesen habe (l. c.) und welche Herr E. Warburg für die Exzitation durch Licht nachgewiesen hat."

Angenommen dieses neue Entladungsgesetz von Jaumann wäre zutreffend, so fehlt doch noch sehr viel, um auf Grund desselben auch nur die Mehrzahl der Erscheinungen deuten zu können und schliesslich lehrt es uns gar nichts über den eigentlichen Mechanismus der Entladungen und lässt sich auch nicht auf andere Fundamentalsätze der elektrischen und magnetischen Phänomene zurückführen, kann also ebensowenig als eine Lösung der eigentlichen Aufgabe betrachtet werden, wie die übrigen dargelegten Theorien.

Schlussbetrachtung.

Ueberblicken wir die gesammte Darstellung der Entladungserscheinungen und insbesondere das, was zuletzt über die verschiedenen Erklärungsversuche gesagt wurde, so ist der Eindruck ein wenig befriedigender.

Wenn auch Faradays Theorie mit den bereits im Vorwort angedeuteten Zusätzen und Verbesserungen im grossen Ganzen wohl ermöglicht hat die mannigfaltigen Phänomene in eine Art System zu bringen und sie als Modifikationen eines verhältnissmässig einfachen Vorgangs ohne Zufügung zahlreicher problematischer Hypothesen zu deuten, so ist doch auch gar manches noch sehr schwer zu verstehen und es wird noch vieler Arbeit bedürfen eine wirklich exakte Theorie der Erscheinungen durchzuführen.

Fragen wir uns, worin liegen denn die eigenartigen Schwierigkeiten, welche verhindern, dass trotz so vieler Arbeit und Mühe, trotz Aufwendung des Scharfsinns der grössten Forscher durch mehr als ein Jahrhundert hin durch die Erscheinungen uns noch zahlreiche unlösbare Räthsel bieten, so dürfte wohl mit Recht ein wesentlicher Grund darin gefunden werden, dass

---

[1]) G. Jaumann, Wied. Ann. 55, 660, 1895.

experimentelle Arbeiten auf diesem Gebiete Maschinen und Apparate erfordern, welche nur wenigen physikalischen Instituten zur Verfügung stehen. In der That beziehen sich die meisten Angaben, welche sich in der Literatur finden, auf kleine Apparate, gewöhnliche Elektrisirmaschinen oder Ruhmkorff'sche Funkeninduktoren und, insofern es sich um Entladungserscheinungen im Vakuum handelt, auf Geissler'sche Röhren von 3 bis 4 cm Durchmesser, wie sie zu billigem Preise im Handel zu erhalten sind. In solchen Röhren kann sich des engen Raumes wegen die Entladung nicht frei ausbilden, wird vielmehr in mannigfaltigster Weise durch die Rohrwandungen gestört, auch liefern die schwachen benutzten Elektrizitätsquellen nicht annähernd gleichmässige Ströme, so dass zu den Störungen durch die Gefässwände noch mannigfache andere, durch die mangelhafte Stromzuführung veranlasste, hinzutreten, welche insbesondere messende Versuche fast unmöglich machen.[1])

Das Arbeiten mit grösseren Gefässen, welche schon an sich theuer sind, erfordert einestheils rasch wirkende, automatisch funktionirende Luftpumpen verschiedener Grösse und Beschaffenheit, anderntheils ausgiebige Elektrizitätsquellen, welche beliebig lange relativ starke gleichmässige Ströme von hoher Spannung zu erzeugen vermögen, was wieder Betrieb durch einen gleichmässig laufenden Motor und Ausgleichung etwaiger Schwankungen durch Beiziehung von Akkumulatoren zur Voraussetzung hat, alles Einrichtungen, deren Beschaffung nicht ohne grosse Mittel möglich ist.[2])

In dieser Hinsicht lassen aber unsere physikalischen Institute nicht selten sehr vieles zu wünschen, obschon die Unmasse hochwichtiger technischer Anwendungen, welche in physikalischen Instituten ihren Anfang genommen haben — ich erwähne die Dampfmaschine (James Watt in Glasgow), die magnetoelektrischen Maschinen (Faraday, London), der elektrische Telegraph (Gauss und W. Weber, Göttingen) etc. — doch hinreichend klar erkennen lassen, dass die physikalische Wissenschaft für unsere ganze Kultur von grösster Wichtigkeit ist, zumal sie fast alljährlich neue interessante Entdeckungen (z. B. Hertz'sche elektrische Wellen, Marconis Telegraphie ohne Drähte, Röntgen'sche X-Strahlen, Lindes Verfahren zur Herstellung flüssiger Luft etc.) zu Tage fördert.

Damit soll kein Vorwurf gegen Staatsbehörden erhoben werden, deren Sachkenntniss und Wohlwollen nicht zu bezweifeln sind, sondern gegen die grosse Masse derjenigen, welche in stumpfer Gleichgültigkeit und Unwissenheit sich nicht im geringsten um die Quellen unserer heutigen Kultur und ihres Wohl-

1) Bereits Hittorf, Pogg. Ann. **136**, 31, 1868, bemerkt: „Es lohnte sich wohl der Mühe den Geissler'schen Aspirator in grossen Dimensionen herzustellen und die Versuche dieses Paragraphen mit längeren und weiteren Röhren fortzusetzen."

2) Von besonderem Interesse wäre auch die Untersuchung der Entladungserscheinungen bei sehr niederen Temperaturen, wie sie sich mit flüssiger Luft erzielen lassen, da bekanntlich durch die Temperatur die Phosphoreszenzfähigkeit der Körper in hohem Grade beeinflusst wird. (Vgl. Pictet, Beibl. **19**, 244, 1894 und Koch, Wied. Ann. **38**, 213, 1889.)

standes kümmern und selbst dann nichts zur Förderung der Wissenschaft beitragen, wenn sie es ohne die geringste Anstrengung und ohne nennenswerthe Opfer zu thun vermöchten. Mit Stolz können z. B. die Amerikaner auf zahlreiche ihrer Landsleute hinweisen, die Millionen für wissenschaftliche Zwecke gespendet und sich sogar um die Förderung der Wissenschaft in unserem eigenen Vaterlande in nicht geringem Maasse verdient gemacht haben.[1])

Hittorf[2]) schreibt: „Gern hätte ich diesen interessanten und so unerwarteten Thatsachen eine noch eingehendere Untersuchung gewidmet, um ihre quantitativen Beziehungen festzustellen. Aber die starken Ströme, welche die Chromsäureelemente der grossen Tauchbatterie liefern, sind zu wenig konstant. Es ist unmöglich die Weissglühhitze der Kohle längere Zeit so unverändert zu erhalten, als es für Messungen nöthig ist. Die elektrodynamische Maschine wird in dieser Hinsicht günstiger sein. Leider gestatteten die beschränkten Mittel, mit welchen ich meine Experimentaluntersuchungen ausführen muss, nicht, eine solche zu erwerben.“

V. v. Lang[3]) äussert sich gelegentlich seiner Untersuchungen über den elektrischen Lichtbogen, indem er bedauert dieselben nicht weiter führen zu können: „Derartige Experimente sind mir nämlich durch die ungünstigen Räumlichkeiten des physikalischen Kabinets äusserst erschwert. Den beschriebenen Versuch mussten wir in einem wenige Quadratmeter grossen, niedrigen gewölbten Raum ausführen, in welchen die Treppe mündet, die nach dem Keller führt, wo die Batterie aufgestellt war. Die Salpetersäuredämpfe, sowie das zur Ventilation nöthige Oeffnen der Fenster verursachten mir einen heftigen Katarrh, der mich vor einer Wiederholung des Experiments sehr abschreckt.“

Bezüglich der Verhältnisse des Karlsruher physikalischen Instituts sei verwiesen auf die von mir herausgegebene Geschichte desselben.[4]) Nicht die Regierung, sondern die Direktion des Polytechnikums[5]) war es, die beispielsweise im Jahre 1858, als gelegentlich der Naturforscherversammlung in Karlsruhe Ruhmkorff von Paris daselbst seinen neuen Induktionsapparat und die

1) So erwähnen z. B. E. Wiedemann und Ebert bei Beschreibung ihrer Versuche über elektrische Entladungen (Sitzb. d. phys. med. Soc. Erlangen, 8. Febr. 1892), dass sie die benutzten Apparate grösstentheils der Liberalität der Verwaltung des Elisabeth Thompson Science Fund in Boston verdanken.

2) Hittorf, Wied. Ann. **21**, 137, 1884. Hittorf führte seine Untersuchungen im physikalischen Institut der Akademie Münster aus.

3) V. v. Lang, Wied. Ann. **26**, 150, 1885. Die Aeusserung bezieht sich auf die Einrichtung des physikalischen Instituts der Universität Wien.

4) Festschrift der Technischen Hochschule zu Karlsruhe zum 40 jährigen Regierungsjubiläum Sr. Kgl. Hoheit des Grossherzogs Friedrich, 1892.

5) Damals existirte noch kein Rektorat im heutigen Sinne, sondern eine ständige Direktion. Direktor war der Professor der Forstwissenschaft Klauprecht und später der Professor des Maschinenbaus Redtenbacher. Letzterer, welcher ursprünglich selbst als Physiker hätte berufen werden sollen, mochte wohl eine Schädigung der Maschinenbauschule befürchten, da ihm Sachkenntniss sicher nicht abzusprechen ist.

damit zu erzielenden prachtvollen Entladungserscheinungen demonstrirte, die Anschaffung eines solchen Apparates für das physikalische Institut mit solcher Energie zu hintertreiben suchte, dass dieselbe schliesslich nur durch das persönliche Interesse und Entgegenkommen des Landesfürsten ermöglicht wurde.[1])

Dieselbe Direktion war es auch, welche (leider mit bestem Erfolge) die vielen Bemühungen Eisenlohrs zur Einrichtung eines brauchbaren physikalischen Instituts bei dem damaligen Neubau des Polytechnikums vereitelte, so dass nach Fertigstellung desselben im Jahre 1865 ein erheblicher Theil der physikalischen Sammlung öffentlich versteigert werden musste, um dieselbe in dem ohne Rücksicht auf die Rathschläge des Physikers ganz unzweckmässig angelegten Neubau überhaupt unterbringen zu können.[2])

Alles was mit rein wissenschaftlichen Bestrebungen zusammenhing oder solche fördern konnte, sollte aus dem Institut ausgeschlossen bleiben.

„Ein Landeskabinet[3]) mag dem Kustos Besuche der ausgezeichnetsten Physiker von aller Welt zuziehen und ihm ein grosses Relief geben. Es mag dem Staate auch gut anstehen für einen physikalischen Akademiker zu sorgen, ihm ein solches Kabinet zu gründen, grossen Gehalt, Wohnung und Bequemlichkeiten aller Art zu seinen physikalischen Forschungen und Entdeckungen zu bereiten. Wir bedürfen eines Kabinets zum Schulunterricht" etc. Das waren die Worte, mit welchen die Direktion ihre Haltung begründete.

Eine solche Auffassung der Aufgabe eines physikalischen Hochschulinstituts entsprach allerdings ganz genau dem Sinne der Bestimmungen im Grossh. Bad. Geheimrathsprotokoll (Polizeidep. J.-Nr. 673) vom 22. Juli 1807, worin die Staatsregierung der Universität Heidelberg erklärt[4]): „dass man das Erfinden im Scientifischen für das Geschäft des Gelehrten, nicht aber für jenes des

---

1) Es ist dies derselbe Induktionsapparat, den später Hertz zu seinen berühmten Versuchen gebrauchte und der im Anfange des vorigen Jahres die zahlreichen Demonstrationen über Röntgenstrahlen (vgl. O. L., Verh. des Karlsruher nat. Vereins, Bd. **12**, 1897) ermöglichte.

2) In den mehr als dreissig Jahren, welche seitdem verflossen sind, ist in Folge von Neuanschaffungen (vgl. Frick-Lehmann, phys. Technik, II, Vorrede S. VIII) und in Folge der Zunahme der Frequenz der Hochschule, welche etwa auf das drei- bis vierfache gestiegen ist, der Raum so knapp geworden, dass ein ruhiges wissenschaftliches Arbeiten unmöglich wurde. Ich sehe mich veranlasst hierauf hinzuweisen, weil trotz der freundlichen Zuwendungen von verschiedenen Seiten (vgl. Vorrede, S. IV) die Experimentaluntersuchungen über Entladungen in unserem Institut nur wenig vorangeschritten sind. Etwa die Hälfte der Sammlungsgegenstände musste an der Zimmerdecke aufgehängt werden, um überhaupt Platz zum Arbeiten zu gewinnen. Hertz benutzte zur Ausführung seiner Untersuchungen über elektrische Strahlen das Auditorium. (Vgl. auch O. L., Nachruf f. H. Hertz, Badische Landeszeitung, 11. Jan. 1894, Nr. 8, I. Blatt.)

3) Das Institut war ursprünglich mit Privatmitteln des Markgrafen Karl Friedrich eingerichtet und später in ein nicht nur für Unterrichtszwecke, sondern in erster Linie für wissenschaftliche Forschung eingerichtetes „Landeskabinet" umgewandelt worden.

4) Siehe Quincke, Geschichte des phys. Instituts der Heidelberger Universität.

Lehrers halte, welcher als solcher gleich dem Richter nicht die Gesetzgebung, sondern die Ausführung des gegebenen Gesetzes zu berücksichtigen habe." Es fehlt nur noch der Zusatz, dass der vorzutragende Lehrstoff vollständig und korrekt in dem Lehrbuch der Physik des Aristoteles enthalten sei, welches bekanntlich das ganze Mittelalter hindurch als eine Art Evangelium galt, und in dem akademischen Gymnasium in Durlach, aus welchem das physikalische Institut der Technischen Hochschule in Karlsruhe hervorgegangen ist, bis 1680 als Lehrbuch im Gebrauch war.

Nur durch einen solchen Zusatz wäre der Inhalt jener alten Verordnung verständlich. War derselbe nicht beabsichtigt, so hätte nähere Bestimmung darüber getroffen werden müssen, woher denn der Lehrer seinen Wissensstoff schöpfen solle und welches jene gelehrten Anstalten sind, deren Geschäft es ist, Entdeckungen und Erfindungen zu machen und dafür zu sorgen, dass dieser Stoff sorgfältig gesichtet und möglichst genau der Wirklichkeit entsprechend bearbeitet und weiter gebildet wird, um so mehr als bekanntlich das Verbot der Schriften von Galilei, Keppler etc. erst im Jahre 1832 aufgehoben wurde.

Der hochverdiente, durch die Präzision und Gründlichkeit seiner Untersuchungen auf dem Gebiete der mathematischen Physik berühmte Physiker Boltzmann in Wien sagt in der Einleitung zum zweiten Theil seiner „Vorlesungen über Maxwells Theorie der Elektrizität und des Lichtes", indem er sich entschuldigt wegen der durch Sparsamkeitsrücksichten nöthig gewordenen dürftigen Ausstattung des Buches, wir Deutsche seien zu arm, um die Ergebnisse physikalischer Forschung in gleich guter Ausstattung darbieten zu können wie die Engländer!

Wer an den Sitzungen der Naturforscherversammlung im Jahre 1894 theilgenommen hat und dabei Gelegenheit hatte die höchst primitive Einrichtung des physikalischen Instituts der Universität Wien kennen zu lernen, der würde sich durchaus nicht gewundert haben, wenn Boltzmann seine Klage auch auf die Hülfsmittel zur physikalischen Forschung ausgedehnt hätte.

W. v. Bezold in Berlin, welcher sich bereits lange vor Hertz mit Untersuchung elektrischer Wellen beschäftigte[1]) und als der erste Entdecker dieser überaus wichtigen Erscheinungen zu betrachten ist, schreibt[2]): „Auch würde ich es keinem verargen, wenn er auf den Gedanken verfallen wäre, dass ich selbst die Bedeutung dieser Versuche gar nicht richtig gewürdigt und nicht gefühlt hätte, dass sie die Keime zur Erschliessung ganz neuer Gebiete in sich trugen. Dies war jedoch keineswegs der Fall, im Gegentheil habe ich es Jahre hindurch schmerzlichst empfunden, dass äussere Umstände mich hinderten, die Arbeit in dem von mir beabsichtigten Umfange wieder aufzunehmen . . . und weiter: Leider musste ich den Gedanken, die Versuche

1) Siehe S. 444.
2) W. v. Bezold, Wied. Ann. **63**, 125, 1897.

in so grossem Massstabe aufzunehmen und weiter zu führen, bald wieder fallen lassen, da ich weder über ein eigenes Laboratorium, noch über einen eigenen Assistenten u. s. w. verfügte."

Wer Gelegenheit hatte die dürftigen Einrichtungen kennen zu lernen, mit welchen Hertz, Lenard und Röntgen ihre grossen Untersuchungen ausgeführt haben, wird aufs höchste erstaunt gewesen sein, wie es möglich war mit so geringen Mitteln so hochwichtige Entdeckungen zu Tage zu fördern.

Nachdem durch die Entdeckung Röntgens in neuester Zeit die Entladungserscheinungen abermals in den Vordergrund des Interesses getreten sind und die Aufmerksamkeit weiterer Kreise auf sich gezogen haben, darf man wohl hoffen, dass sich die materiellen Schwierigkeiten, welche bisher einer gründlichen Untersuchung entgegenstanden, beseitigen lassen werden, um so mehr als gerade die Röntgen'schen Arbeiten auch den Fernerstehenden deutlich erkennen lassen, dass auf diesem Gebiete rein theoretische Arbeiten noch verfrüht sind und nur sorgfältige Experimentaluntersuchungen zu einer wirklichen Erweiterung unserer Kenntnisse führen können.[1])

Uebrigens fehlt es weniger an dieser Erkenntniss, als an dem Bewusstsein, dass den meisten Physikern nur ungenügende Hülfsmittel zu Gebote stehen. Es giebt Beispiele, dass Freunde der Wissenschaft, welche den Wunsch hatten, dieselbe durch Zuwendung reicher Mittel zu fördern, in Unkenntniss dieses Umstandes ihre Schenkungen in so unzweckmässiger Weise einrichteten, dass der beabsichtigte Zweck völlig verfehlt wurde. Vielleicht tragen diese Zeilen dazu bei über die vorhandenen Uebelstände in weiteren Kreisen Klarheit zu verbreiten.

Nachträge.

Zu Seite 215, 237, 379 und 417.

Max Töpler[2]) vermochte das positive und negative Büschellicht in Luft von gewöhnlicher Dichte vollständig zu trennen durch Einschieben einer dünnen Platte eines Halbleiters wie z. B. Schiefer. Das negative Büschellicht zeigte sich dabei meist geschichtet wie Fig. 367 (nach einer Photographie) erkennen lässt, das positive war in der Regel nicht geschichtet. Diese Schichtungen in freier Luft verhielten sich ebenso wie diejenigen in Vakuumröhren. Dicht an der Kathode bildete sich eine dem blauen Glimmlicht entsprechende, ge-

1) In seiner neuesten Arbeit (Berl. Akad. **26**, 576, 1897) theilt Röntgen mit, dass ihm ein grosser Theil der benutzten Apparate kostenlos von der Firma Greiner & Friedrichs in Stützerbach i. T. zur Verfügung gestellt worden sei.

2) M. Töpler, Wied. Ann. **63**, 109, 1897.

wöhnlich regelmässig polygonale (z. B. sechseckige) helle Austrittsfläche; durch einen scharf ausgeprägten dunkeln Trennungsraum von sehr geringer Dicke davon getrennt folgten bis zu sechs Schichten und die als Anode fungirende Seite der Schieferplatte war mit mattem, violettem Glimmerlicht bedeckt.

Wurde die Schieferplatte verschoben, so behielten die Schichten ihre Stellung ungeändert bei, es bildeten sich stets so viele Schichten aus, als zwischen Kathode und Halbleiter Platz hatten. Verschob man die Kathode allein, so nahm sie die Schichten mit sich[1]).



Fig. 367.



Fig. 368.

Wurde die photographische Platte während der Aufnahme verschoben, so erhielt man Bilder wie Fig. 368[2]), welche folgenden zeitlichen Verlauf der etwa $^1/_2$ Sekunde dauernden Entladung erkennen lassen: „An der Kathode treten zuerst zischende, unstät hin- und herfahrende Lichtfäden in grosser Zahl auf. Plötzlich erscheint an ihrer Stelle der bekannte violette, summende (weil gleichfalls intermittirend auftretende), ziemlich unbewegliche, negative Lichtpinsel oder -Büschel. Aus dem negativen Büschel wächst allmählich eine rosa gefärbte Lichtspitze heraus, diese schiesst rasch weiter und weiter auf, zeigt aber keine Schichtung, selbst wenn ihre Länge 1 cm und mehr beträgt. Schliesslich überbrückt sie als Initialfunken den Schlagraum und nun erst erfolgt die geschichtete Gesammtentladung. Diese eigentliche Entladung kann beliebig (z. B. mehrere Minuten) lang dauernd gemacht werden.“

Im Allgemeinen wandern die Schichten.

---

1) Als Elektrizitätsquelle dienten vier Batterien von Leydener Flaschen (Schachtelbatterien [vgl. Müller-Pouillet-Pfaundler 3, 230] zu je acht Flaschen) von je ca. 40000 cm (= 0,0445 Mikrofarad) Kapazität, geladen durch eine 60-plattige Töpler'sche Influenzmaschine. Die Schaltung war: Positiver Influenzmaschinenpol — Innenbelege zweier Batterien — grosser Wasserwiderstand — positive Polkugel — Funkenstrecke mit Halbleiter — negative Polkugel — Innenbelege zweier Batterien — negativer Maschinenpol. Alle Batterieaussenbelege waren metallisch mit einander verbunden. Die Spannung betrug 80000 Volt, die Dauer einer Entladung durchschnittlich $^1/_4$ Sekunde, der Rückstand ca. 90 Prozent.

2) Die untere Seite geht der oberen zeitlich vorauf.

„Sogar prächtige, langsam wandernde Righi'sche ‚Kugelfunken' erhält man (bei Gasdrucken von ca. 4 cm) mit dem einfachen Maschinenstrome; inwieweit dieses Phänomen mit meiner Schichtung in freier Luft zu vergleichen ist, wäre noch zu untersuchen."

Zu Seite 240.

Die Figg. 369 und 370 stellen photographische Aufnahmen eines bei 10000 Volt kurz geschlossenen Blitzableiters nach Görges dar. „Fig. 369 ist

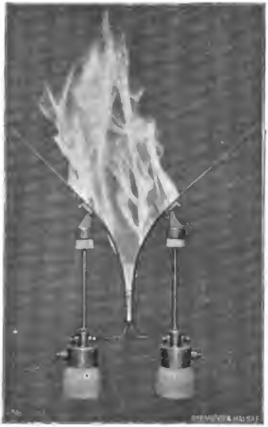


Fig. 369.

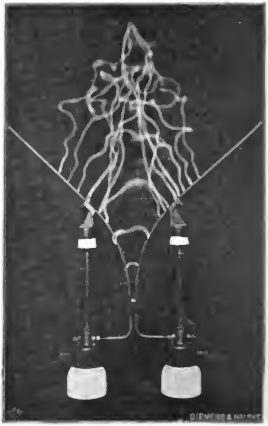


Fig. 370.

eine Daueraufnahme von etwa zwei Sekunden, in welchen der Lichtbogen nach oben wandert und erlischt. Man kann an dem Bilde die Stromwechsel erkennen und daher die Zeit bestimmen, in welcher der Lichtbogen um ein Bestimmtes in die Höhe getrieben worden ist, da bei jedem Stromwechsel die Fusspunkte des Lichtbogens abwechselnd etwas nach oben wandern. Fig. 370 ist eine Aufnahme, die mit Hilfe einer rotirenden, radial geschlitzten Scheibe gemacht wurde. Von den vielen Lichtbogen, in die man sich die bei dem Kurzschluss auftretende Flammenerscheinung aufgelöst denken muss, sind in der Abbildung nur wenige sichtbar. Sie lassen erkennen, dass der Lichtbogen in jedem Augenblicke ein dünnes Band bildet, das sich den Wirbeln der Luft folgend in mannigfacher Weise verschlingt."

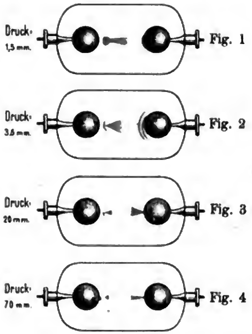
Namen-Verzeichniss.

(Die hinter den Namen stehenden Ziffern geben die Seitenzahlen an.)

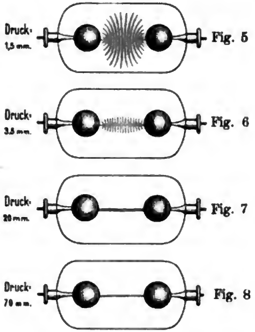
Sach-Register.

Halle a. S., Buchdruckerei des Waisenhauses.

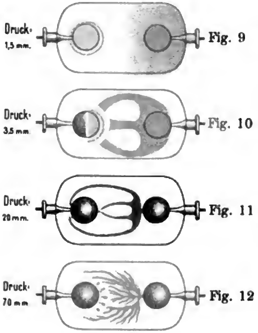
Glimmentladung.



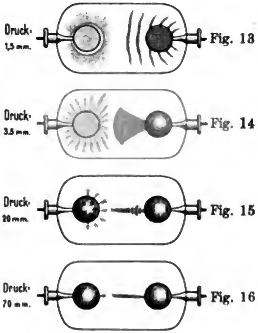
Funkenentladung.

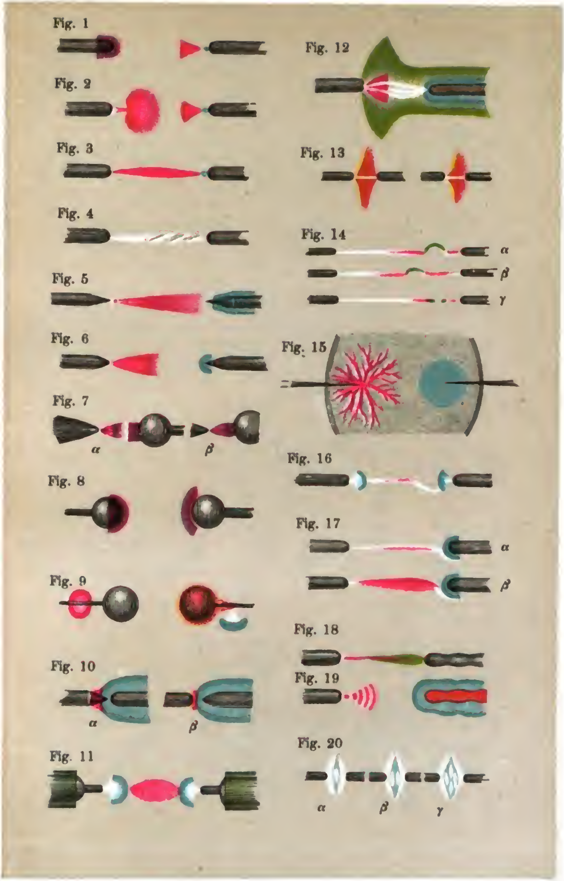


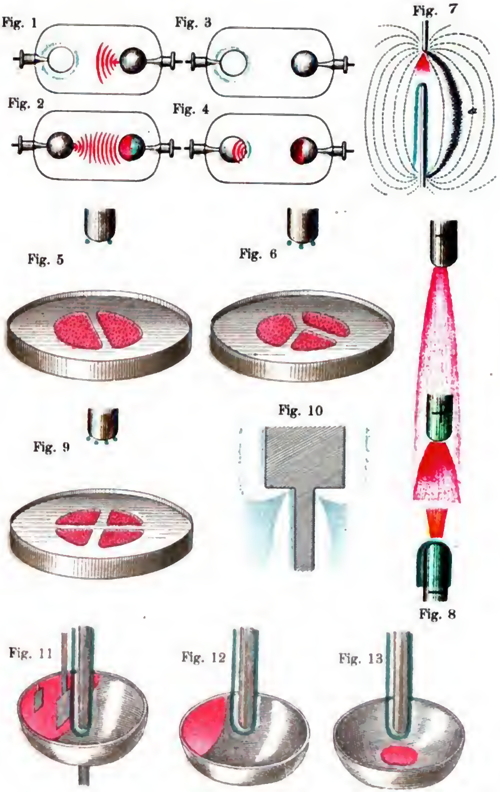
Büschelentladung.



Streifenentladung.




Fig. 1
Fig. 2
Fig. 3
Fig. 4
Fig. 5
Fig. 6
Fig. 7
α
β
Fig. 8
Fig. 9
Fig. 10
α
β
Fig. 11
Fig. 12
Fig. 13
Fig. 14
α
β
γ
Fig. 15
Fig. 16
Fig. 17
α
β
Fig. 18
Fig. 19
Fig. 20
α
β
γ


Fig. 1
Fig. 3
Fig. 7
Fig. 2
Fig. 4
Fig. 5
Fig. 6
Fig. 9
Fig. 10
Fig. 8
Fig. 11
Fig. 12
Fig. 13

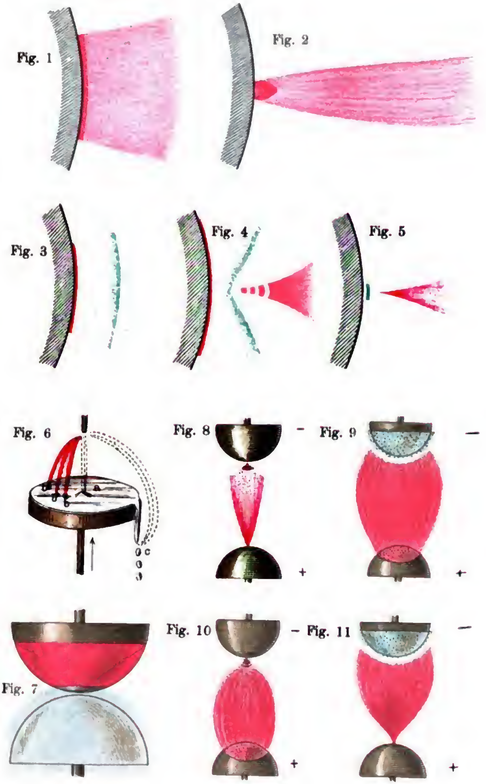

Fig. 1
Fig. 2
Fig. 3
Fig. 4
Fig. 5
Fig. 6
Fig. 7
Fig. 8
Fig. 9
Fig. 10
Fig. 11
−
+

Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3

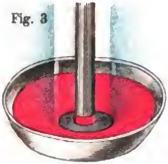


Fig. 4



Fig. 5

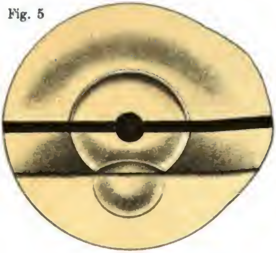


Fig. 6

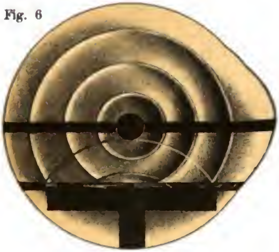


Fig. 7

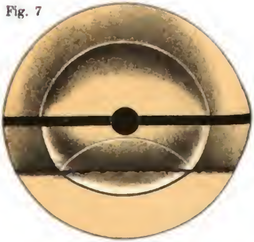


Fig. 1

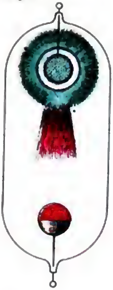


Fig. 3

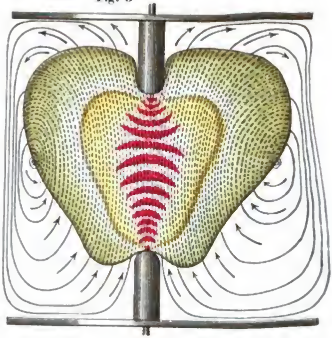


Fig. 2

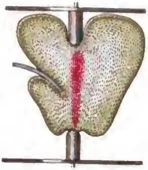


Fig. 4

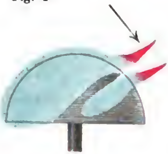


Fig. 5

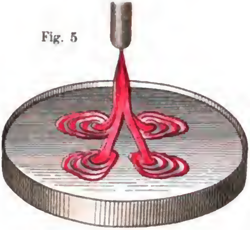


Fig. 6

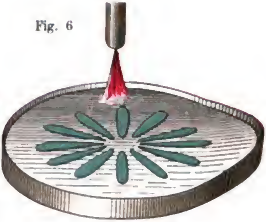


Fig. 1

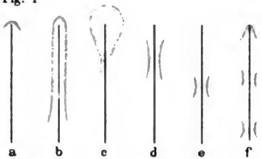


Fig. 2

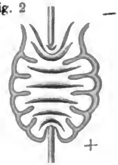


Fig. 3

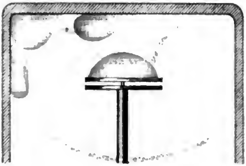


Fig. 4



Fig. 5

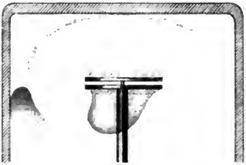


Fig. 6



Fig. 7



Fig. 8

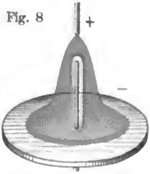


Fig. 9

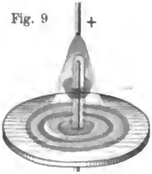


Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4



Fig. 5

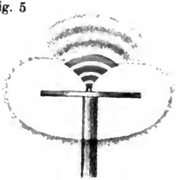


Fig. 6



Fig. 7

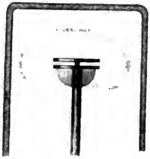


Fig. 8



Fig. 9

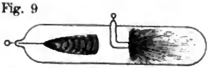


Fig. 10



Fig. 1

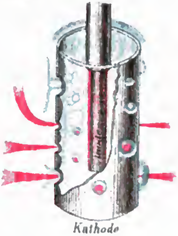


Fig. 2

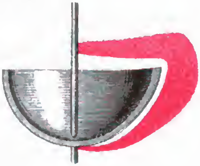


Fig. 3



Fig. 4



Fig. 5



Fig. 6

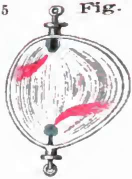


Fig. 7

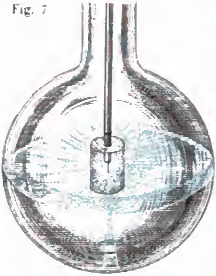


Fig. 8



Fig. 9



Tafel X

Fig. 1

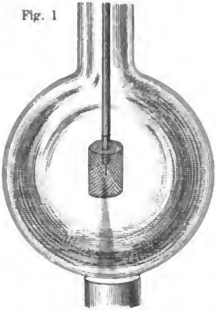


Fig. 2

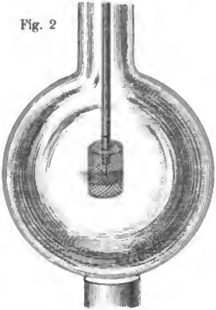


Fig. 3



Fig. 4

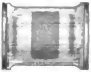
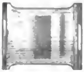


Fig. 5



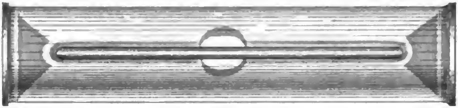


Fig. 6

Fig. 7

